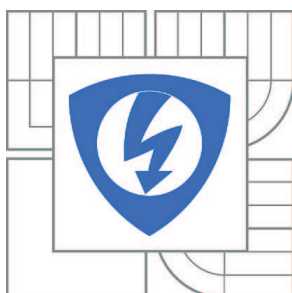


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

KOMUNIKAČNÍ SYSTÉM MALÉHO MOBILNÍHO ROBOTU

COMMUNICATION SYSTEM OF SMALL MOBILE ROBOT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

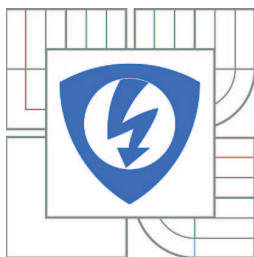
Bc. DAVID PETROV

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LUDĚK ŽALUD, Ph.D.

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. David Petrov

ID: 83365

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Komunikační systém malého mobilního robotu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prozkoumejte možnosti bezdrátové komunikace mezi dálkově ovládaným robotem a operátorskou stanicí. Realizujte komunikaci pomocí předloženého modulu. Navrhněte vlastní komunikační protokol. Navrhněte způsob otestování parametrů komunikačních modulů a po konzultaci s vedoucím proveďte otestování předloženého modulu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Joseph J. Jones, et. al., Mobile Robots - Inspiration to Implementation, A K Peters, 1999, ISBN 1-56881-097-0

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 23.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Diplomová práce řeší problematiku bezdrátového přenosu mezi operátorskou stanicí a robotem. Je zde řešen způsob testování parametrů předložených bezdrátových modulů, jejich srovnání v daném prostředí a návrh komunikačního protokolu.

Klíčová slova

Bezdrátová komunikace, RS232, UART, TTL, Radiomodem, Bluetooth, komunikační protokol, kolový robot.

Abstract

This thesis addresses the problem of wireless transmission between the operator station and the robot. There is a solution presented by way of testing the parameters of wireless modules, compare them in the environment and the draft protocol.

Keywords

Wireless communications, RS232, UART, TTL radiomodem, Bluetooth, communication protocol, wheeled robot.

Bibliografická citace:

Petrov, D. *Komunikační systém malého mobilního robotu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 58s. Vedoucí diplomové práce byl doc. Ing. Luděk Žaludovi, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Komunikační systém malého mobilního robota jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **23. května 2011**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Lud'ku Žaludovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **23. května 2011**

.....

podpis autora

Obsah

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Úvod..... | 8 |
| 1.1 | Robot a základní příslušenství | 9 |
| 1.1.1 | Podvozek Traxxas | 9 |
| 1.1.2 | Snímače..... | 10 |
| 1.1.3 | Radiomodem RSX150 [3]..... | 11 |
| 2 | Možnosti bezdrátové komunikace..... | 12 |
| 2.1 | Základní informace o volných pásmech [4]..... | 12 |
| 2.2 | Parametry a vlastnosti radiových zařízení | 15 |
| 2.3 | Základní standardy používané pro bezdrátovou komunikaci..... | 15 |
| 2.3.1 | Wifi [5] | 16 |
| 2.3.2 | WiMAX | 17 |
| 2.3.3 | Bluetooth..... | 18 |
| 2.3.4 | ZigBee..... | 19 |
| 2.3.5 | Radiomoduly - radiomodemy | 20 |
| 2.3.6 | Radiomodemy RE400..... | 21 |
| 2.3.7 | Srovnání bezdrátových standardů | 23 |
| 3 | Realizace – komunikace | 24 |
| 3.1 | Komunikační systém | 24 |
| 3.2 | Rozhraní na straně počítače | 25 |
| 3.3 | Sériová komunikace..... | 26 |
| 3.4 | Další možnosti připojení k počítači | 29 |
| 3.5 | Připojení k USB pomocí modulu UMS1 | 30 |
| 3.6 | AVR Mikrokontrolér Atmega8 [17] | 33 |
| 3.7 | Programování mikrokontroleru..... | 35 |
| 3.8 | Realizace a rozmístění součástí robotu | 37 |
| 3.9 | Testovaná zařízení | 39 |
| 3.9.1 | Radiomodem RSX150 s počítačem | 39 |
| 3.9.2 | Bluetooth OMSPA310 | 40 |
| 3.9.3 | Vojenský radiomodem Re400..... | 43 |
| 3.10 | Testovací deska ze strany robotu | 45 |
| 4 | Testování Radiomodemů..... | 48 |
| 5 | Komunikační protokol..... | 53 |
| 5.1 | Operátorské stanice – řízení podvozku a spouštění měření | 53 |
| 5.2 | Vysílání dat z robotu do operátorské stanice | 53 |
| 6 | Závěr | 55 |
| | Seznam použité literatury | 56 |

1 ÚVOD

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a realizovat komunikační systém schopný komunikovat s kolovým robotem za zhoršených provozních podmínek. V určitých situacích kdy by byla využita vysokorychlostní komunikační zařízení například (Wi-fi), může dojít ke ztrátě datového objemu, například vlivem velké vzdálenosti, rušení a tím dojde k neschopnosti operátora ovládat robot, kdy nebude schopný rozeznat obraz z kamery. Proto jsme navrhli systém, který pomocí simulace sníženého datového toku radiových modulů s nízkou přenosovou rychlostí dokáže zpracovávat data ze senzorů a od operátora. Moje práce je součástí rozdělených úkolů, kde já se zabývám návrhem komunikačního protokolu a testováním komunikačních modulů a kolega řízením kolového robotu a zpracováním dat z ultrazvukových senzorů, elektronického kompasu a akcelerometru. Pomocí dat ze zmíněných senzorů už dokáže operátor navigovat robot.

V úvodu práce jsou popsány základní části ze kterých je složen robot. Jako je podvozek robotu, který jsme dostali k dispozici spolu se snímači a radiovými moduly.

Dále je řešena problematika bezdrátového přenosu, základní rozdělení volných pásem, možnosti v mobilní robotice, parametry vybraných technologií a praktické příklady volně dostupných zařízení.

V další části se věnujeme realizaci. Návrh komunikačního systému, možnosti připojení daných bezdrátových zařízení k počítači a řídicí desce robotu. Popis ovládacích aplikací, programátorů, řídicího mikrokontroléru a jeho zdrojového souboru, rozmístění modulů a zařízení na robotu. Dále je zde popsána asynchronní sériová linka, implementace a konfigurace testovaných zařízení.

Následuje kapitola test bezdrátových zařízení, kde je detailněji popsána testovací aplikace, nastavené parametry daných zařízení. V závěru práce se věnujeme návrhu komunikačního protokolu a zhodnocení dosažených výsledků

1.1 Robot a základní příslušenství

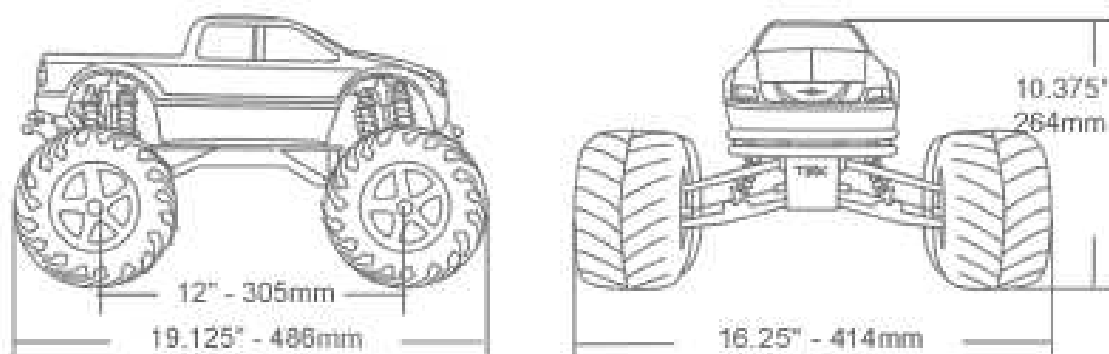
V následujících kapitolách bude popsán robot a jeho technické vybavení s kterým jsme pracovali. Bude zmíněný druh podvozku, snímače a hlavní část práce testování radiomodemů RSX150.

1.1.1 Podvozek Traxxas

Firma Traxxas vyrábí RC modely aut. Tento podvozek pro mobilního robota byl zvolen pro jeho kvalitu zpracování a výkony. Parametry podvozku jsou zapsány v tabulce č.1. Podvozek je osazen tlumiči, náhonem 4x4, který je poháněn přes kardanové hřídele a diferenciály.

Tabulka 1- Parametry podvozku

| parametr | hodnota |
|------------------------------------|---------|
| Délka | 486mm |
| Šířka | 414mm |
| rozvor | 305mm |
| Světla výška uprostřed podvozku | 101mm |
| Váha | 4,4kg |



Obrázek 1 - Ukázka podvozku

Pohon automobilu se řízen dvěma stejnosměrnými motory Titan Monster 550 (14,4V, větrákem chlazené) a přídatnou dvoustupňovou převodovkou. Motory jsou regulované regulátorem Speedstar2. Řazení rychlostních stupňů je ovládané servomotorem Traxxas 2018. Natáčení kol zajišťuje servomotor Hitec HS-5645MG. Řízení servomotoru se provádí šířkou pulzu. Napájení dodávají dvě NiMH baterie Nosram 3000 - 7,2V.

1.1.2 Snímače

1.1.2.1 Popis SRF10 – Ultrazvukový dálkoměr

Ultrazvukový dálkoměr komunikuje pomocí sběrnice I2C. Je vyroben s adresou 0xE0. Ultrazvukový dálkoměr může být naprogramován na adresy 0xE0 až 0xFE a umožňuje tím použití až šestnácti dálkoměrů v jednom systému.

Technické údaje dálkoměru [1]

Konektor obsahuje pět pinů (napájení 5V, napájení 0V, datové signály SDA a SCL, a volný pin využitý pouze při výrobě a v dalším zapojení je nevyužit. Signály SCL a SDA musí být připojeny přes pull-up rezistory k napětí 5V. Snímač SRF10 je vždy zařízení typu Slave. Na dálkoměru je červená LED dioda, která po připojení napájení signalizuje blikáním nastavenou adresu na I2C sběrnici (je přerušeno při přijmutí jakéhokoliv příkazu) a také krátce blikne při každém vyslání měřicího signálu.

1.1.2.2 Modul kompasu CMPS03

CMPS03 byl vytvořen jako součást navigačního zařízení, složí k určení otočení robota. Použitý snímač Philips KMZ51 s dostatečnou citlivostí indikuje magnetické pole země ze signálů dvou navzájem kolmých senzorů. Vypočítává směr horizontální složky geomagnetického pole země. Výsledek měření lze získat dvěma způsoby. Přes I2C interface, nebo pomocí PWM šířkově modulovaného signálu.

1.1.2.3 Modul tříosého axelerometru ACC7260 [2]

Senzor MMA7260 je připájený na malém modulu s filtračními RC články a stabilizátorem napětí. Je možné modul osazovat do desky plošných spojů nebo nepájivého pole. Integrovaný senzor zrychlení Freescale MAA7260 může měřit ve čtyřech rozsazích $\pm 1,5g$ až $6g$. Citlivost snímače je v rozmezí $200mV/g$ až $800mV/g$ podle zvoleného rozsahu. Pro snadnější využití je senzor připevněn na modul, kde jsou vyvedeny jednotlivé výstupy pro snadné zapojení. Napájecí napětí modulu je 5V.

1.1.3 Radiomodem RSX150 [3]

Radiomodemy RSX tvoří skupinu univerzálních vysokorychlostních inteligentních rádiových modemů s integrovanými transceivery Wood & Douglas skupiny Professional pro transparentní přenos dat v úzkých kmitočtových pásmech VHF a UHF.



Obrázek 2 - Ukázka radiomodemu RSX150

Vlastnosti radiomodemů

- Plně transparentní poloduplexní přenos dat
- Softwarově nastavitelný
- Podpora adresace v rádiové síti
- Datové rozhraní RS232 s rychlostí až 38400Bd
- Režim snížení příkonu

2 MOŽNOSTI BEZDRÁTOVÉ KOMUNIKACE

V této kapitole budou uvedeny základní informace o volných radiových pásmech, parametry stanic, popis vybraných bezdrátových technologií příklady a jejich vlastnosti a srovnání.

2.1 Základní informace o volných pásmech [4]

Pod pojmem volné pásmo se rozumí pásmo kmitočtů, ve kterém je povolen radiový provoz bez licenčních poplatků držitelům homologovaných zařízení, přičemž jejich počet není předem omezen. Tito provozovatelé pak mohou sdílet při provozu celé vyčleněné pásmo, ovšem bez nároku na ochranu proti rušení.

V radiofrekvenčním spektru je takových volných pásem vyčleněno více, například CB, pásmo 433 MHz, 868 MHz a další. Podmínky pro provoz datových a jiných zařízení ve volných pásmech jsou pro tuzemské prostředí stanoveny generálními licencemi (dříve generální povolení), které vydal Český telekomunikační úřad pod číslem GL-12/R/2000, případně GL-30/R/2000.

Pro informaci uvádím některé nejčastěji dotazované kmitočty pro tato zařízení:

- 27 MHz Provozování je možné podle VO-R/10/03.2007-4.
- 49 MHz Provozování není přípustné (zařízení ruší 1. TV kanál).
- 230–400 MHz Pásmo je vyhrazeno pro účely obrany státu – žádný civilní provoz není přípustný.
- 433 MHz Provozování je možné podle VO-R/10/03.2007-4 (pouze přenos dat; bezdrátová sluchátka nejsou povolena).
- 863–865 MHz Provozování akustických aplikací je možné podle VOR/10/03.2007-4.
- 868–870 MHz Provozování je možné podle VO-R/10/03.2007-4.
- 870–960 MHz Pásmo provozu mobilních telefonů GSM – provozování jiných aplikací není přípustné.
- 2,4 GHz Provozování (RLAN, RFID, zařízení krátkého dosahu) je možné podle VO-R/12/08.2005-34nebo VO-R/10/03.2007-4.

VŠEOBECNÉ OPRAVNĚNÍ č. VO-R/10/03.2007

Toto oprávnění Českého telekomunikačního úřadu řeší podmínky provozu nspecifikovaných stanic krátkého dosahu. Nespecifikované stanice slouží zejména pro telemetrii, dálkové ovládání, signalizaci a přenos poplachových informací.

V tabulce 2 jsou označena a specifikována kmitočtová pásma vyzářený výkon, povolená kanálová rozteč a klíčovací poměr.

Tabulka 2 - Technické parametry stanic [4]

| Ozn. | Kmitočtové pásmo | Vyzářený výkon, popř. intenzita magnetického pole | Kanálová rozteč | Klíčovací poměr) |
|------|-----------------------|--|----------------------------|--------------------------------------|
| a | 6765 – 6795 kHz | 42 dB μ A/m / 10 m | ⁸⁾ | – |
| b | 13,553 – 13,567 MHz | 42 dB μ A/m / 10 m | ⁸⁾ | – |
| c | 26,957 – 27,283 MHz | 42 dB μ A/m / 10 m nebo 10 mW e.r.p. | ⁸⁾ | – |
| d | 40,660 – 40,700 MHz | 10 mW e.r.p. | ⁸⁾ | – |
| e | 138,200 – 138,450 MHz | 10 mW e.r.p. | ⁸⁾ | < 1,0 % |
| f | 433,050 – 434,790 MHz | 10 mW e.r.p. | ⁸⁾ | < 10 % |
| f1 | 433,050 – 434,790 MHz | 1 mW e.r.p. Pro širokopásmové kanály o šířce > 250 kHz je spektrální hustota vý- konu omezena na –13 dBm / 10 kHz | ⁸⁾ | až 100 % |
| f2 | 433,050 – 434,790 MHz | 10 mW e.r.p. | max. 25 kHz | až 100 % |
| g | 863,000 – 870,000 MHz | 25 mW e.r.p. | viz odst. 4 | < 0,1 % ⁹⁾ ¹⁰⁾ |
| g1 | 868,000 – 868,600 MHz | 25 mW e.r.p. | ⁸⁾ | < 1,0 % ⁹⁾ |
| g2 | 868,700 – 869,200 MHz | 25 mW e.r.p. | ⁸⁾ | < 0,1 % ⁹⁾ |
| g3 | 869,300 – 869,400 MHz | 25 mW e.r.p. | max. 25 kHz | – |
| g4 | 869,400 – 869,650 MHz | 500 mW e.r.p. | max. 25 kHz ¹¹⁾ | < 10 % ⁹⁾ |
| g5 | 869,700 – 870,000 MHz | 5 mW e.r.p. | ⁸⁾ | až 100 % |
| h | 2400 – 2483,5 MHz | 25 mW e.i.r.p. | ⁸⁾ | – |
| i | 5725 – 5875 MHz | 25 mW e.i.r.p. | ⁸⁾ | – |
| j | 24,000 – 24,250 GHz | 100 mW e.i.r.p. | ⁸⁾ | – |
| k | 61,0 – 61,5 GHz | 100 mW e.i.r.p. | ⁸⁾ | – |
| l | 122 – 123 GHz | 100 mW e.i.r.p. | ⁸⁾ | – |
| m | 244 – 246 GHz | 100 mW e.i.r.p. | ⁸⁾ | – |

Poznámky k tabulce 2

Add 8) Kanálová rozteč není stanovena, pro přenos signálu může být použito celé uvedené kmitočtové pásmo.

Add 9) Při použití technologie LBT (vysílání pouze na vyžádání na základě příjmu) není klíčování poměr omezen.

Add 10) U zařízení s vyzářeným výkonem do 10mW e.r.p a s šířkou pásma od 200 kHz do 3MHz může být klíčovací poměr zvýšen až na 1%.

Kmitočtová pásma vhodná na datový přenos

Stanice v kmitočtových pásmech f, f1, f2 a g nelze používat pro vysílání hovorových a akustických signálů.

V kmitočtovém pásmu g lze provozovat zařízení s modulací FHSS s kanálovou roztečí $\leq 100\text{kHz}$. zařízení s modulací DSSS, nebo s jinou širokopásmovou modulací kromě FHSS bez omezení kanálové rozteče; u těchto zařízení je spektrální hustota výkonu omezena na $-4,5\text{ dBm}/100\text{kHz}$ v případě využití celkového kmitočtového pásma, na $+6,2\text{ dBm}/100\text{ kHz}$ v případě využití pouze kmitočtového úseku $865 - 868\text{ MHz}$ a na $+0,8\text{ dBm}/100\text{ kHz}$ v případě využití pouze kmitočtového úseku $865 - 870\text{ Mhz}$.

Úzkopásmová zařízení s kanálovou roztečí $\leq 100\text{kHz}$.

U zařízení podle add 1. a add 3. se upřednostňuje kanálová rozteč 100 kHz , umožňující dílčí dělení na 50kHz nebo 25kHz . Do této kategorie spadají například poplachová zařízení.

Kmitočtová pásma vhodná na přenos obrazu a zvuku

Přenos obrazových informací je možný pouze na kmitočtech nad 2400Mhz .

Kmitočtová pásma a, b, c, d, f, h, i, j, k, l mohou být použita také na průmyslové, vědecké a lékařské aplikace (tzv. pásma ISM), tj. využití rádiových kmitočtů pro jiné účely než je přenos informací, např. pro technologický ohřev, osvětlení, vaření, vědecké experimenty atd. Škodlivé rušení, které vzniká provozem těchto aplikací, musí být omezeno na minimum.

Stanice v kmitočtovém pásmu musí používat vstupní protokol s příslušnou technickou normou

Norma 802.11 definuje pro radiové přenosy dva způsoby řízení nosného kmitočtu:

- Direct frequency spread spectrum (DSSS)
- Frequency hopping spread spectrum (FHSS)

Každá z těchto metod má své přednosti i nevýhody a její výběr by měl být součástí řešení a optimalizace projektu daného datového spoje.

Na trhu je široká nabídka různých technologií pro bezdrátovou komunikaci. Pro orientaci mezi vhodných zařízení je bereme v úvahu parametry daných zařízení a často i cenu závislou na počtu vyráběných zařízení.

2.2 Parametry a vlastnosti radiových zařízení

Tyto parametry většinou výrobce udává ve svých katalogových listech

Datový vstup/výstup - příkladem může být sériová linka, USB, ethernet

Přenosová rychlost - (Baud rate) [Bd] nastavitelná hodnota v daných zařízení

Frekvenční rozsah - (Frequency range) v našich případech řádově stovky [Mhz]

Šířka pásma - (bandwidth), interval frekvencí, který je přenosový kanál schopný přenést, většinou se udává v kilohertzech [kHz]

Výstupní výkon - (Power output) řádově jednotky až stovky milivatů [mW], [dBm]

Napájecí napětí - volty [V]

Proudový odběr - miliampéry [mA]

Anténa - zajímá nás velikost antény a k jakému typu konektoru se připojujeme

Typ oprávnění využití zařízení v radiovém prostoru

Dosah daného zařízení - (range) desítky až stovky metrů [m]

Typ modulace - příkladem může být GMSK, klíčování ON/OFF, atd.

Cena - v některých případech ji výrobce neudává

Datový tok – (Bit rate) [bit/s], [b/s], [kb/s] závislý na přenosové rychlosti a provozních podmínkách jako je například rušení a vzdálenost daných zařízení

Duplex Poloviční/Plný – směr toku dat

Přepnutí zápis/čtení – doba mezi vysláním a příjmem [s]

2.3 Základní standardy používané pro bezdrátovou komunikaci

Pro komunikaci s mobilním robotem, který se bude pohybovat v budově a nebude mít přímý dohled na operátorskou stanici budeme uvažovat následující standardní technologie, jejich parametry, příklady volně dostupných technologií a jejich srovnání:

Seznam uvažovaných technologií

- Wifi
- Wimax
- Bluetooth
- ZigBee
- Radiomoduly

2.3.1 Wifi [5]

Je to standard pro lokální bezdrátové sítě a vychází ze specifikace IEEE 802.11. Wi-Fi využívá bezlicenčního pásma, což má negativní důsledky ve formě silného zarušení příslušného frekvenčního pásma. Následníkem Wi-Fi by měla být bezdrátová technologie WiMax, která se zaměřuje na zlepšení přenosu signálu na větší vzdálenosti.

Tabulka 3 - Přehled standardů IEEE 802.11

| Standard | Pásmo [GHz] | Maximální rychlost [Mbit/s] | Fyzická vrstva |
|---------------------|-------------|-----------------------------|----------------|
| IEEE 802.11 | 2,4 | 2 | DSSS |
| IEEE 802.11a | 5 | 54 | OFDM |
| IEEE 802.11b | 2,4 | 11 | DSSS |
| IEEE 802.11g | 2,4 | 54 | OFDM |
| IEEE 802.11n | 2,4 nebo 5 | 600 | OFDM, MIMO |

Popis modulací používaných u Wi-Fi standardů

DSSS (Direkt Sequence Spread Spectrum) - širokopásmová modulace, technika přímého rozprostřeného spektra. Je jednou z metod pro rozšíření spektra při bezdrátovém přenosu dat.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením) Je to širokopásmová modulace využívající kmitočtové dělení kanálu. Pracuje s tzv. rozprostřeným spektrem, kdy je signál vyslán na několika stovek až tisíc nosných kmitočtů což zvyšuje odolnost vůči interferenci.

MIMO (Multiple input multiple output, více vstupů více výstupů) – abstraktní matematický model pro multi-anténí komunikační systémy. Má vysokou datovou propustnost a dosah při zachování šířky pásma a celkového výdeje vyzařovací energie. Obecně zefektivňují spektrální využití rádiových systémů

Příklad volně dostupného Wi-fi modulu

Na trhu je velké množství Wi-Fi modulů použitelných pro naše potřeby. Vybral jsem jako příklad cenově dostupný modul R52 od firmy MIKROTIK a v tabulce 4 uvádím jeho parametry.

Tabulka 4 – parametry Wi-fi modulu R52 [7]

| Parametry | |
|----------------------|-----------------------------------|
| Název | Hodnota |
| Frekvence: | 2.4, 5 GHz |
| Přenosová rychlost: | 54 Mbps |
| Normy: | 802.11a/b/g |
| Max. výstupní výkon: | a: 17, b: 19, g: 18 dBm |
| Citlivost: | -95 (1 mbps) až -71 (54 mbps) dBm |
| Modulace: | DSSS, OFDM |
| Spotřeba: | max.: 1320 mW |
| Cena: | 393,- bez DPH |

2.3.2 WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) je stále se vyvíjející bezdrátovou technologií. WiMAX je definovaná v řadě norem IEEE 802.16. Jde o standard pro bezdrátovou distribuci dat zaměřených na venkovní síť, tedy jako doplněk Wi-Fi (chápanému jako standard pro vnitřní síť)

Příklad volně dostupného WiMAX modulu - BreezeMAX

Klientská WiMAX indoor rádiová jednotka řady BreezeMAX je určená do pásma 3,5GHz. Má integrovanou anténu i možnost připojit anténu externí. Toto zařízení získalo ocenění IT produkt roku 2007. [8] V následující tabulce jsou uvedeny základní parametry daného zařízení.

| Technické parametry Modulu BreezeMAX | |
|--------------------------------------|------------------|
| Název | Hodnota |
| Norma: | 802.16d, 802.16e |
| Kmitočet: | 3.5GHz |
| Modulace: | OFDM |
| Přenosová rychlost: | 16Mbps |
| Výstupní výkon: | 22dBm |
| Citlivost: | -103dBm |
| Šířka kanálu: | 3.5MHz, 1.75MHz |
| Napájení | 230 V AC |
| Cena | 12 540,- |

2.3.3 Bluetooth

Je to bezdrátová komunikační technologie sloužící k bezdrátovému propojení mezi dvěma a více elektronickými zařízeními, jakými jsou například mobilní telefon, PDA, nebo osobní počítač. Definovaná standardem IEEE 802.15.1. Spadá do kategorie osobních počítačových sítí. Bluetooth se vyskytuje v několika vývojových verzích, z nichž v současnosti nejvíce využívána nese označení 2.0 EDR (Enhanced Data-Rate), zavádí novou modulační techniku $\pi/4$ -DQPSK a zvyšuje tak datovou propustnost na trojnásobnou hodnotu oproti Bluetooth 1.2 (2,1 Mbit/s). Tímto se dosahuje daleko větší výdrže baterii, protože samotné navázání spojení a i přenos samotný probíhá v daleko kratší době než u starších verzí Bluetooth. V současné době (2011) je nově vyvinuto rozhraní 4.0, u kterých výrobci slibují větší dosah (až 100metrů) a menší spotřebu elektrické energie.

Modulace $\pi/4$ -DQPSK (Differential Quadriphase (Quadrature) Shift Keigen) [6]

Patří do skupiny číslicové modulace. Digitální modulace (klíčování).

Rozeznáváme 3 základní druhy:

- amplitudová (ASK)
- fázová (PSK)
- kmitočtová (FSK)

Nás bude zajímat kvadrurní fázová modulace QPSK, fáze nosné může nabývat čtyř hodnot (odtud plyne její název). Modifikací principu QPSK dostaneme $\pi/4$ -DQPSK. Vyznačuje se dvěma výhodami, díky tomu, že informace je skryta ve změně fáze, umožňuje nekoherentní příjem. Navíc omezuje vliv parazitní amplitudové modulace.

Výkonnost bluetooth je označována následujícím způsobem

Class 1. - 100 metrů (maximální teoretický dosah)

Class 2. - 10 metrů

Class 3. - 1 metr

Příklad volně dostupného bluetooth modulu OMSP310 [9]



Jde o výrobek švédské firmy connectBlue. Nabízí široký sortiment průmyslových sériových RS-232 Seriál Port Adapter modulů Bluetooth, Dual Band WiFi, nebo ZigBee.

Obrázek 3 - Ukázka bluetooth modulu OMSPA310

Tabulka 5 – Parametry modulu OMSPA310

| Parametry modulu OMSPA310 | |
|----------------------------------|------------------------------|
| Název | Hodnota |
| Dosah | až 75 m (ve volném prostoru) |
| Výstupní výkon | 3,5 dBm |
| Rozhraní | UART 3V logika |
| Max. baudrate | 921,6 kBd |
| Napájení | 3,0 – 6,0 V |
| Spotřeba | min 7,9 mA, průměr 17mA |
| Cena za kus | 610,- |

2.3.4 ZigBee

Je to bezdrátová komunikační technologie vystavěná na standardu IEEE 802.15.4. Zigbee je poměrně novým standardem platným od listopadu 2004.

Podobně jako Bluetooth je určena pro spojení nízkovýkonových zařízení v sítích PAN na malé vzdálenosti do 75 metrů. Díky použití multiskokového ad-hoc směrování umožňuje komunikaci i na větší vzdálenosti bez přímé radiové viditelnosti jednotlivých zařízení. Primární určením směřuje do aplikací v průmyslu a senzorových sítích. Pracuje v bezlicenčních pásmech přibližně 868 MHz, 902–928 MHz a 2,4 GHz. Přenosová rychlost činí 20, 40, 250 kbit/s.

Příklad volně dostupného ZigBee bluetooth modulu. Dostupného na obchod.hw.cz. [10]

| Technické parametry modulu ZigBit-B0 | |
|---|------------------|
| Název | Hodnota |
| Norma: | 802.15.4/ZigBee |
| Kmitočet: | 2,4 - 2,4835 GHz |
| Přenosová rychlost: | 250 kbps |
| Výstupní výkon: | (-) 17 až 3 dbm |
| Citlivost: | (-) 101 dBm |
| Šířka kanálu: | 5 MHz |
| Napájení | 1,8 - 3,6 V |
| Cena | 468,- |

2.3.5 Radiomoduly - radiomodemy

V této oblasti jsou k dispozici zařízení s nižším datovým tokem než předchozí uvedené skupiny. Používají se jak jednosměrné tak i obousměrné moduly označované jako radiomodemy. Pracují na frekvencích (433 – 870)Mhz. Většinou se používají na přenos základních povelů, ale nejsou vhodné na přenos zvuku, či obrazu. Oproti ostatním technologiím používají komunikaci přes sériovou linku. U osobních počítačů se využívá USB portu a převodníků od firmy FTDI, které nám zprostředkují komunikaci s danými moduly.

V následující tabulce jsou základní parametry radiomodemu RSX150, který je stěžejní částí komunikačního systému mobilního robota.

Tabulka 6 - Parametry RSX150

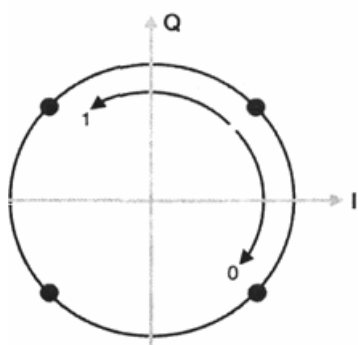
| Specifikace | |
|--------------------|---|
| Operační mód | Pouze příjem pouze vysílání |
| Data vstup/výstup | RS232 |
| Přenosová rychlost | 4800 Bd - 12,5 kHz a 9600 Bd - 20 kHz až 25 kHz |
| Modulace | GMSK |
| Frekvenční rozsah | VHF 125-180MHz, UHF 400-500MHz a 868-870MHz |
| Adresy | 0 - 255 |
| Napájení | 9,0 - 15V DC |
| Přepínač TX/RX | 20 mS |
| Výstupní výkon | 500 mW |
| Oprávnění | ETS 300 113, MPT 1329 a ETS 300 339 (EMC) |

Radiomodemy řady RSX lze provozovat na frekvencích v pásmech VHF nebo UHF - jsou schváleny dle evropských standardů EN 300 113, resp. EN 300 220. Radiomodemy RSX jsou opatřeny konektory BNC (RF) a Canon (data). V závislosti na konkrétní kanálové rozteči je maximální rychlost rádiového kanálu 4800 Bd, nebo 9600 Bd při použití GMSK modulace. Přenosová rychlost sériového rozhraní RS232 může být až 38400 Bd.

Modulace GMSK [11]

V sítích druhé generace se používá modulace GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) tedy Gaussovská modulace s minimálním zdvihem. Tato modulace je odvozená od dvoustavové frekvenční modulace FSK (Frequency Shift Keying). Skoková změna fáze této modulace (při vyjádření logických stavů „1“ a „0“) ale znamená potřebu relativně širokého frekvenčního pásma (amplitudy frekvenčních složek jsou energeticky významné a mohou se projevit např. rušením v sousedních pásmech). Tuto nevýhodu

odstraňují tzv. nelineární modulace s pamětí. Vlastností modulace MSK (Minimum Shift Keying) tedy frekvenčního klíčování s minimálním zdvihem je to, že dochází ke spojitému přechodu fáze. Pokud se dále ještě před modulátor MSK předřadí dolní propust gaussovského typu (pravoúhlý signál se po průchodu touto propustí přemění na signál ve tvaru Gaussovy křivky, a tím se omezí účinná šířka spektra), vznikne modulace GMSK. V GMSK je tedy vysílání logické „1“ resp. „0“ reprezentováno kladnou resp. zápornou změnou hodnoty fáze (kladný nebo záporný přírůstek). To tedy znamená, že modulační rychlost je rovna rychlosti přenosové (jeden bit na symbol). Na obrázku 4 je zobrazen princip klíčování modulace GMSK



Obrázek 4 - Princip klíčování modulace GMSK.

2.3.6 Radimomodemy RE400

Společnost RACOM vyrábí 2 základní řady radiomodemů [12].

PROFI

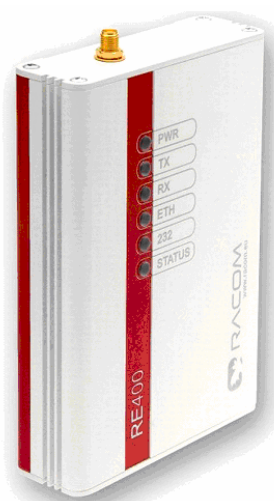
Od běžných radiomodemů na trhu se odlišují vysokou inteligencí, která z nich dělá spíše radio routery. V nabídce RACOM jsou modemy pro všechna běžná pásma a šířky kanálu, half-duplexní i full-duplexní s výkonem až 25 watů. Modulární koncepce zařízení umožňuje zhotovit řešení odpovídající individuálním potřebám.

ECONOMY

Transparentní radiomodemy vhodné především pro menší sítě a méně náročné aplikace. Jejich hlavní přednosti jsou jednoduchá konfigurace, široká přeladitelnost, rozhraní Ethernet a RS232. Tato zařízení byla dočasně dostupná na našem ústavu a v následujících kapitolách se jim budeme více věnovat.

Parametry radiomodemů Re400

RE400 je transparentní rádiový modem pro přenos dat s moderním, digitálním řešením rádiové části (Softwarově Definované Rádio - SDR). Umožňuje širokou přeladitelnost včetně softwarového nastavení šířky rádiového kanálu. Je vybaven ethernetem a sériovým rozhraním RS232, napájení je typu PoE, nebo přes volné piny SCC. Konfigurace se provádí přes standardní prohlížeč pro Internet. Mechanická konstrukce je provedena s ohledem na dobrý odvod tepla z elektronických částí na kovové pouzdro a procesor je tak účinně chráněn před nadměrným ohřevem. Konstrukce umožňuje dlouhodobé zatížení, modem je určen pro aplikace s trvalým provozem.



Obrázek 5 - Radiomodem RE400

Tabulka 7 – Parametry radiomodemu RE400

| Parametry RE400 | |
|----------------------------|---------------------------------|
| Název | Hodnota |
| Frekvenční rozsah | 373,25-484 MHz |
| Šířka kanálu | 25 kHz, 12,5 kHz, nebo 6,25 kHz |
| Přepínač Vysílání / příjem | <1,5 ms |
| Citlivost | lepší než -107 dBm |
| Výkon | Low -0,5 W a High 2W |
| Datová Rychlost | 2,6 kbps v kanálu 6,25 kHz |
| | 5,2 kbps v kanálu 12,5 kHz |
| | 10,4kbps v kanálu 25 kHz |
| Rozhraní | Ethernet, RS232 |
| Napájení DC | 10,8-30 V |
| Spotřeba High | 950 mA / 13,8 V |

Tabulka 8 – Srovnání uvedených zařízení

2.3.7 Srovnání bezdrátových standardů

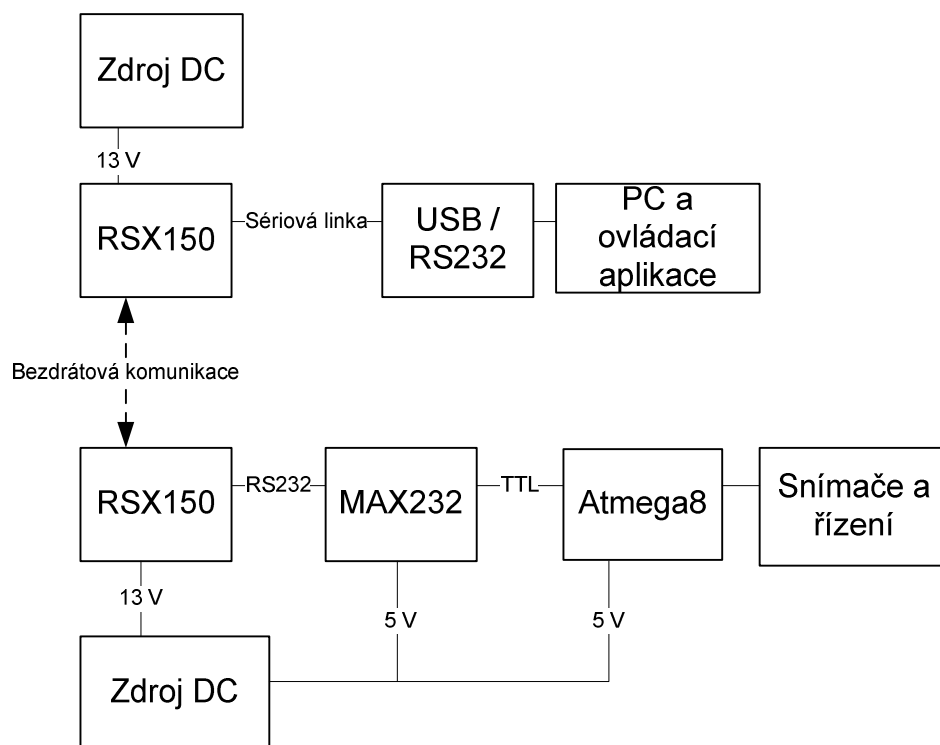
Jak je vidět v následující tabulce největší dosah mají radiomodemy pracující na nižších frekvencích. WiMax se dá požit na velké vzdálenosti a navíc má daleko rychlejší datový přenos než radiomodemy, čemuž odpovídá i cena, která se pohybuje od 10 tisíc výše. Ostatní zařízení se dají pořídit relativně levně avšak mají daleko menší dosah. U Wi-fi jde dosah až řádově do km. Všeobecně lze říci, že zařízení pracující na vysokých frekvencích, potřebují přímý dohled antén, ale nemají tak velkou spotřebu energie jako zmíněné radiomodemy.

| | Frekvence | Výkon | Dosah | Max. rychlost / kanál |
|-------------------|------------------|--------------|--------------|------------------------------|
| OMSPA310 | 2,4GHz | 2,2 mW | až 75 m | 921,6 kBd |
| RSX450 | 451 MHz | 500 mW | desítky km | 9600 Bd / 25kHz |
| Re400 | 399 MHz | 2W | desítky km | 112 kBd / 25kHz |
| ZigBit B0 | 2,4 – 2,48 GHz | 3 dBm | až 75 m | 250 kbps |
| BreezeMAX | 3,5 GHz | 22 dBm | jednotky km | 16 Mbps |
| Wi-fi, R52 | 2,4 – 5 GHz | až 19 dB | stovky m | 54 Mbps |

3 REALIZACE – KOMUNIKACE

3.1 Komunikační systém

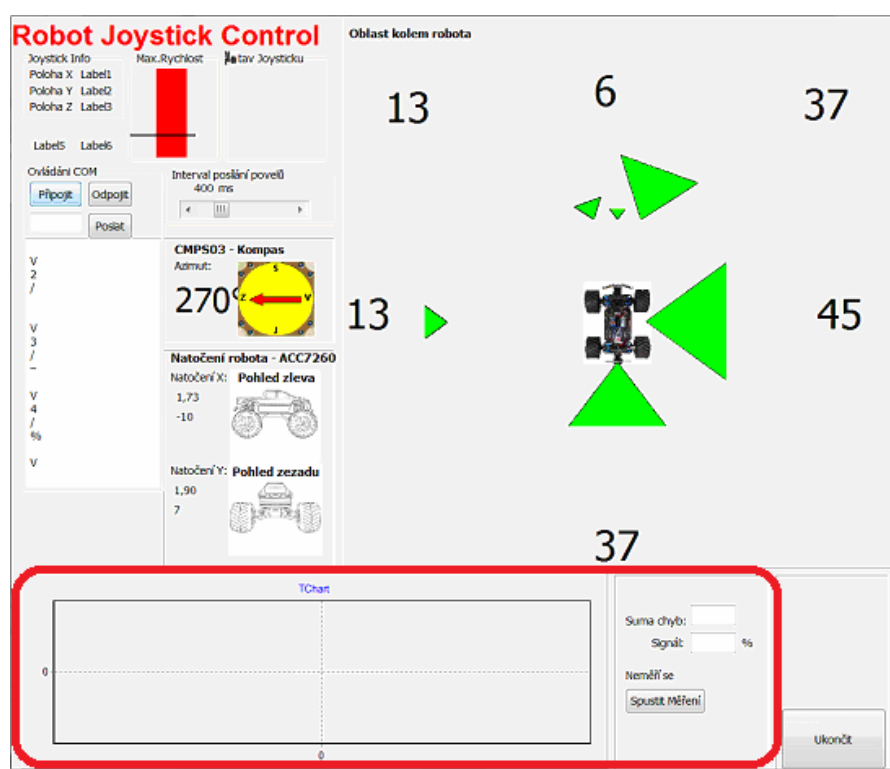
V této části se budeme věnovat praktické realizaci, propojení bezdrátových zařízení s počítačem, robotem a jeho příslušenstvím. Na následujícím obrázku je návrh komunikačního systému.



Obrázek 6 - Komunikační systém

3.2 Rozhraní na straně počítače

Vytvořili jsem ovládací aplikaci v C++ Buldier 2007 . Robot je řízen pomocí joystiku. Program každých 400 ms vyšle sled zpráv, které řídí ovládání robotu. Mezi vysílacími intervaly očekává data z robotu a jeho snímačů, které zobrazuje. Ovládací aplikace komunikuje prostřednictvím USB rozhraní. Data se zpracovávají převodníkem USB / RS232, který se hlásí jako sériová linka. Data jsou vedeny na vstup radiomodemu, který má vlastní napájecí zdroj na 9 - 13V DC.



Obrázek 7 – V červeném rámečku ovládací aplikace robotu je má součást práce

Na obrázku 7 jsou vidět informace z dálkoměrů v centimetrech, díky nim operátor vidí jak je daleko je od překážek. Dále jsou zde informace z kompasu, který nám určuje směr jízdy robotu a data z akcelerometru, které znázornují náklon robotu v terénu. Spodní část aplikace označená červeným rámečkem slouží k proměření daných radiomodemů, bude popsána v následující kapitole.

3.3 Sériová komunikace

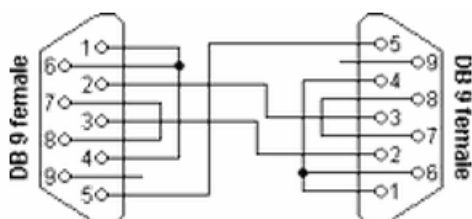
Formát RS-232

Standard RS-232, respektive jeho poslední varianta RS-232C z roku 1969, se používá jako komunikační rozhraní osobních počítačů a další elektroniky. RS-232 umožňuje propojení a vzájemnou sériovou komunikaci dvou zařízení, tzn. že jednotlivé bity přenášených dat jsou vysílány postupně za sebou (v sérii) po jediném vodiči, podobně jako u síťové technologie Ethernet, nebo rozhraní USB.

V současné době se v oblasti osobních počítačů od používání sériového rozhraní RS-232 již téměř definitivně ustoupilo a to bylo nahrazeno výkonnějším Univerzálním sériovým rozhraním (USB). Nicméně v průmyslu je tento standard, především jeho modifikace – standardy RS-422 a RS-485, velice rozšířen a pro své specifické rysy tomu tak bude i nadále. Na rozdíl od komplexnějšího USB, standard RS-232 pouze definuje, jak přenést určitou sekvenci bitů a nezabývá se už vyššími vrstvami komunikace. V referenčním modelu ISO/OSI tak představuje pouze fyzickou vrstvu.

Tabulka 9 - Popis jednotlivých vývodů sériové linky

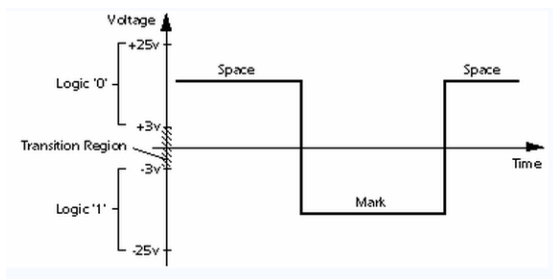
| Signál | Popis |
|--------|--|
| DCD | Modem oznamuje terminálu, na lince detekoval nosný kmitočet |
| RXD | Tok dat z modemu do terminálu |
| TXD | Tok dat z terminálu do modemu |
| DTR | Terminál oznamuje modemu, že je připraven komunikovat |
| SGND | Signálová zem |
| DSR | Modem oznamuje terminálu, že je připraven komunikovat |
| RTS | Terminál oznamuje modemu, že komunikační cesta je volná |
| CTS | Modem oznamuje terminálu, že komunikační cesta je volná |
| RI | Modem oznamuje terminálu, že na lince detekoval signál zvonění |



Obrázek 8 - Drátové propojení sériové linky [16]

Toto je jedno z nejčastějších propojení kabelů. U kabelu si však můžeme povšimnout, že RXD je propojeno s TXD a obráceně.

Význam jednotlivých signálů



Obrázek 9 – Logické úrovně sériové linky

Tabulka 10 - Standardní úrovně signálu sériové linky

| Řídící signály | | |
|----------------|---------------|---------------|
| Signál | Driver | Terminátor |
| "Off" | -5 V to -15 V | -3 V to -25 V |
| "On" | 5 V to 15 V | 3 V to 25 V |
| Datové signály | | |
| Úroveň | Vysílač | Přijímač |
| Log. L | +5 V to +15 V | +3 V to +25 V |
| Log. H | -5 V to -15 V | -3 V to -25 V |
| Nedefinovaný | -3 V to +3 V | |

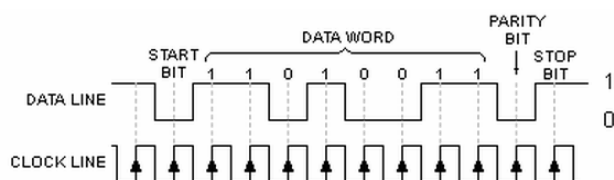
Sériová linka

Standard definuje asynchronní sériovou komunikaci pro přenos dat. Pořadí přenosu datových bitů je od nejméně významného bitu (LSB) po bit nejvýznamnější (MSB). Počet datových bitů je volitelný, obvykle se používá 8 bitů, lze se také setkat se 7 nebo 9 bity. Logický stav „0“ a „1“ přenášených dat je reprezentován pomocí dvou možných úrovní napětí, které jsou bipolární a dle zařízení mohou nabývat hodnot ± 5 V, ± 10 V, ± 12 V nebo ± 15 V. Nejčastěji se používá varianta při které logické hodnotě 1

odpovídá napětí -12 V a logické hodnotě 0 pak $+12\text{ V}$. Základní tři vodiče rozhraní (příjem RxD, vysílání TxD a společná zem GND) jsou doplněny ještě dalšími sloužícími k řízení přenosu (vstupy DCD, DSR, CTS, RI, výstupy DTR, RTS). Ty mohou a nemusí být používány (zapojeny), nebo mohou být použity pro napájení elektronických obvodů v zařízení, jako je například počítačová myš. Výstupní elektronika je vybavena ochranou proti zkratu, kdy po překročení proudu 20 mA proud již dále neroste.

Asynchronní komunikace

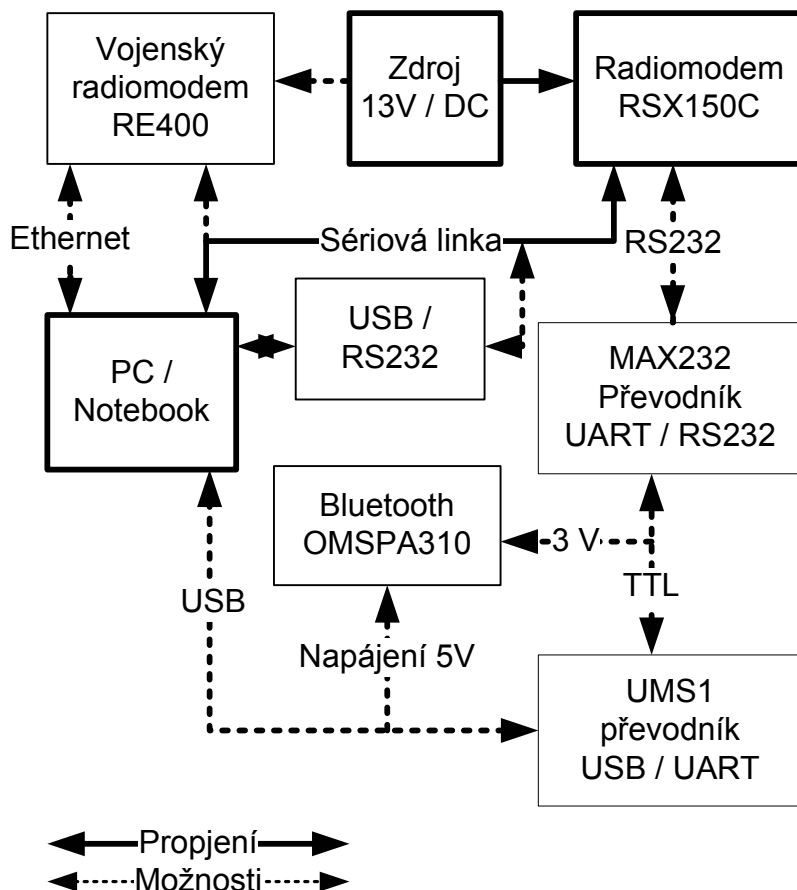
I když komunikující zařízení znají rychlost, jakou se data přenášejí, musí přijímač začít přijímat ve správný okamžik, tedy musí proběhnout synchronizace. V případě synchronní komunikace souběžně s datovým vodičem existuje i synchronizační vodič, na kterém vysílač oznamuje přijímači „teď jsem poslal data“. Naopak u asynchronní komunikace se synchronizační vodič nepoužívá, pouze vysílač pošle nějaká definovaná data po datovém vodiči, po jejichž přijetí se přijímač zasynchronizuje. V případě RS232 každé sekvenci datových bitů předchází jeden start bit, kterým se logická hodnota na lince přepne (původně v klidovém stavu) do opačného stavu. Po datových bitech následuje paritní bit a za ním jeden nebo více stop bitů, během kterých je linka opět v klidovém stavu. Je tak možné pro komunikaci použít méně vodičů na úkor určitého snížení rychlosti způsobeného synchronizací. K podobné synchronizaci dochází i u Ethernetu, kde na začátku každého rámce vyšle vysílač několik bajtů, ve kterých se střídají bity 0 a 1.



Obrázek 10 – Standardní přenosový rámec asynchronní komunikace

3.4 Další možnosti připojení k počítači

Oproti předchozímu případu mám více možností jak připojit dané zařízení k počítači. Například pomocí sériové linky, kterou však novější počítače nemají implementovanou. Pro každé zařízení je vhodný jiný typ realizačního propojení. Na následujícím obrázku jsou znázorněny možnosti, jakými byla daná zařízení testována.



Obrázek 11 – Možností připojení testovaných zařízení k počítači

Výhodou při použití převodníku UMS1 je, že pro bluetooth moduly stačí napájení 5V z USB. A však v případě použití Radiomodemů už je požadavek na vyšší napájecí napětí a proto potřebují vlastní napájecí zdroj.

3.5 Připojení k USB pomocí modulu UMS1

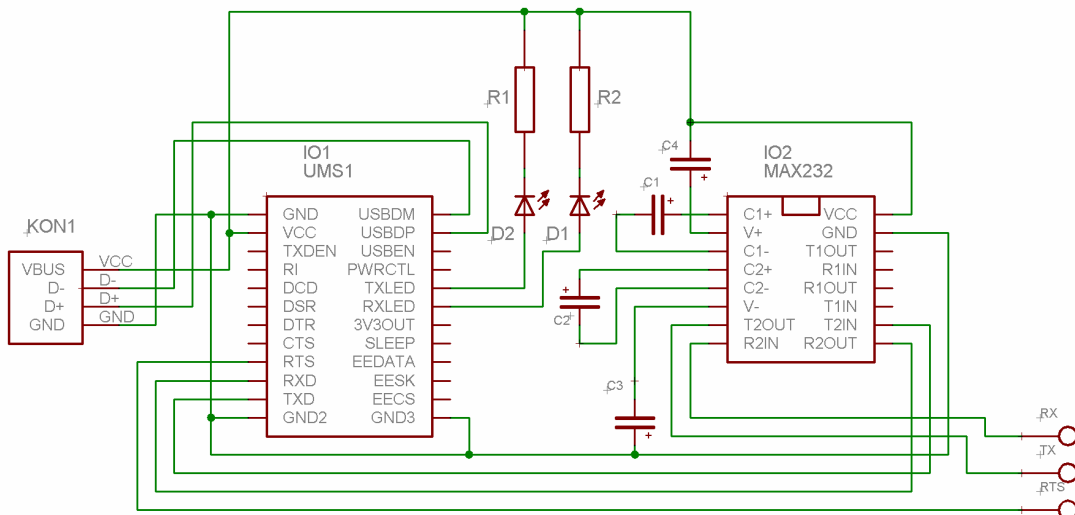
Nové počítače sériovou linku nemají, proto bylo nutné vytvořit vlastní způsob propojení, využívající portu USB. Rozhodl jsem se využít převodník UMS1. Hlavní součástí je integrovaný obvod FT232BL od firmy FTDI, který umožňuje připojení ovládací aplikace k PC pomocí sběrnice USB. Vstupem do modulu jsou 2 signály z konektoru USB, výstupem jsou signály sběrnice UART s možností plně hardwarového řízení toku dat.

Vlastnosti MODULU UMS1 [13]

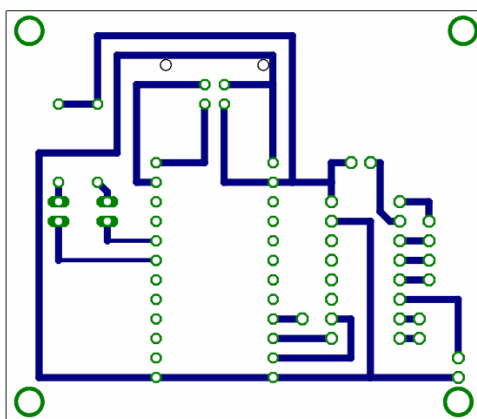
- Založeno na obvodu FTDI FT232BL
- Provedení DIP24 se standardní roztečí 2,54 mm
- Drivery pro Windows 98SE/ME/2K/XP/VISTA/SEVEN, Mac a Linux zdarma
- Přenos dat rychlostí až 920 kbaud po sběrnici RS232 a až 2000 kbaud po sběrnici RS422/485
- Podporuje připojení externí paměti EEPROM s identifikací VID a PID.

Ukázka použitých klasických funkcí v ovládací aplikaci [14]

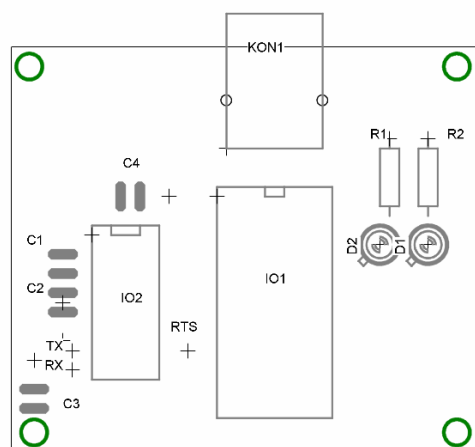
```
FT_OpenEx("USB <->Serial", FT_OPEN_BY_DESCRIPTION,&ftHandle);  
                                     //otevře zařízení  
  
FT_SetBaudRate(ftHandle,9600);       //nastaví přenosovou rychlost  
  
FT_SetDataCharacteristics(ftHandle, FT_BITS_8, FT_STOP_BITS_1,  
FT_PARITY_EVEN);                     //nastaví parametry přenosu  
  
FT_Read(ftHandle, &InputBuffer, 1, &cteni); //přečte data ze zařízení  
  
FT_Write(ftHandle,&predani,1,&pocet);    //zápis programu do zařízení  
  
FT_Close(ftHandle);                  //otevře zařízení
```



Obrázek 12 - Schéma rozhraní pro operátorskou stanici



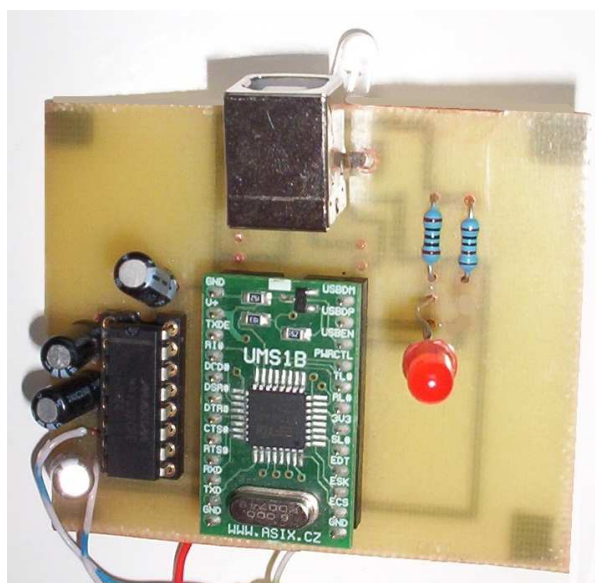
Obrázek 13 - Deska plošných spojů pro operátorskou stanici



Obrázek 14 - Osazovací plán desky pro operátorskou stanici

Tabulka 11 - Seznam součástek PC

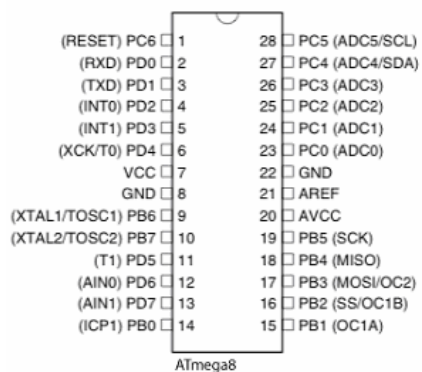
| Označení | Hodnota |
|----------------|---|
| IO1 | UMS1 (převodník USB/UART) |
| IO2 | Převodník úrovní MAX232 (RS232/TTL) |
| D1, D2 | LED 5 mm, 20 mA |
| R1, R2 | Rezistor 200 Ω , metalizovaný, 0.6 W |
| C1, C2, C3, C4 | Elektrolytický kondenzátor 1 uF/16V |



Obrázek 15 – Ukázka desky s USB portem k ovládací aplikaci

3.6 AVR Mikrokontrolér Atmega8 [17]

Atmega8 je vhodný pro první experimenty s robotikou i jako interface pro složitější zařízení. Napájení je 5V, obsahuje sériovou linku, nutnou pro moji práci. Dále jsou uvedeny vlastnosti mikrokontroléru. Na obrázku 16 je rozložení vývodů



Obrázek 16 - Mikrokontrolér Atmega8

Vlastnosti mikrokontroléru atmega8

- 8kByte ISP FLASH paměť
- 1kByte RAM
- 512Byte EEPROM
- 2x8bit + 1x16bit čítač/časovač
- USART, SPI
- Interní oscilátor

Tabulka 12 - Možné nastavení přenosových rychlostí [17]

| Operating Mode | Equation for Calculating Baud Rate | Equation for Calculating UBRR Value |
|--|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Asynchronous Normal mode (U2X = 0) | $BAUD = \frac{f_{osc}}{16(UBRR + 1)}$ | $UBRR = \frac{f_{osc}}{16BAUD} - 1$ |
| Asynchronous Double Speed Mode (U2X = 1) | $BAUD = \frac{f_{osc}}{8(UBRR + 1)}$ | $UBRR = \frac{f_{osc}}{8BAUD} - 1$ |
| Synchronous Master Mode | $BAUD = \frac{f_{osc}}{2(UBRR + 1)}$ | $UBRR = \frac{f_{osc}}{2BAUD} - 1$ |

Tabulka 13 – Nastavení přenosových rychlostí pro krystal 20 MHz

| Baud Rate (bps) | $f_{osc} = 20.0000 \text{ MHz}$ | | | |
|-----------------|---------------------------------|-------|----------|-------|
| | U2X = 0 | | U2X = 1 | |
| | UBRR | Error | UBRR | Error |
| 2400 | 520 | 0.0% | 1041 | 0.0% |
| 4800 | 259 | 0.2% | 520 | 0.0% |
| 9600 | 129 | 0.2% | 259 | 0.2% |
| 14.4k | 86 | -0.2% | 173 | -0.2% |
| 19.2k | 64 | 0.2% | 129 | 0.2% |
| 28.8k | 42 | 0.9% | 86 | -0.2% |
| 38.4k | 32 | -1.4% | 64 | 0.2% |
| 57.6k | 21 | -1.4% | 42 | 0.9% |
| 76.8k | 15 | 1.7% | 32 | -1.4% |
| 115.2k | 10 | -1.4% | 21 | -1.4% |
| 230.4k | 4 | 8.5% | 10 | -1.4% |
| 250k | 4 | 0.0% | 9 | 0.0% |
| 0.5M | – | – | 4 | 0.0% |
| 1M | – | – | – | – |
| Max | 1.25 Mbps | | 2.5 Mbps | |

Výpočet přenosových rychlostí

Pracujeme v klasickém asynchronním módu (U2X=0)

Máme krystal 20 Mhz

$$BAUD = \frac{f_{osc}}{16(UBRR + 1)}$$

$$UBRR = \frac{f_{osc}}{16BAUD} - 1 = \frac{20 \cdot 10^6}{16 \cdot 9600} - 1 = 129,2083$$

Převod jednotek

129 dekadicky = 1000 0001 binárně = 81 hexadecimálně = 0x81

Programování mikrokontroleru

Nastavení přenosu v mikrokontroléru

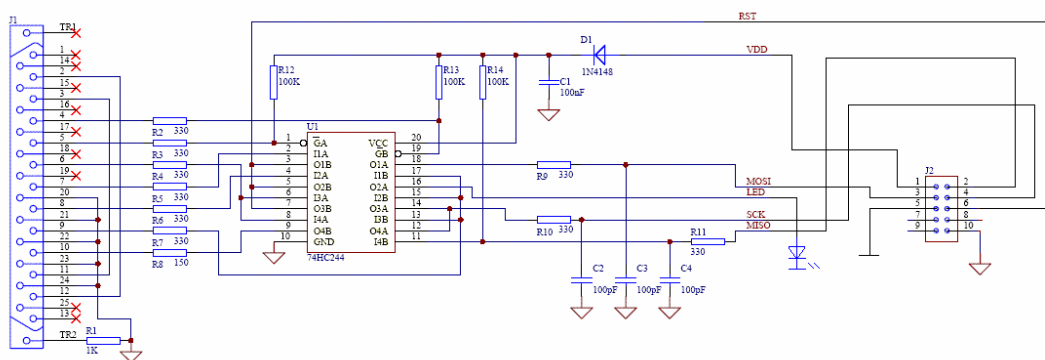
| | |
|---------------|---|
| UCSRA = 0x00; | nastavení normálního asynchronního módu (U2X = 0) |
| UBRRH = 0x00; | nastavuje se vždy 0 |
| UBRRL = 0x81; | 9600 BD nastavení rychlosti pro krystal 20 Mhz |
| UCSRB = 0x18; | povolí vysílání a příjem |
| UCSRC = 0x86; | rámec dat: 8 datových, 1 stop bit, bez parity |

3.7 Programování mikrokontroleru

Program v mikrokontroléru je psaný v jazyce ANSI C. Je možné použít více vhodných překladačů jako například CodeVisionAVR. V našem případě jsme zvolili překladač AVR Studio 4 tím jsme kompilovali zdrojové kódy a tak získávali strojový *.hex soubor.

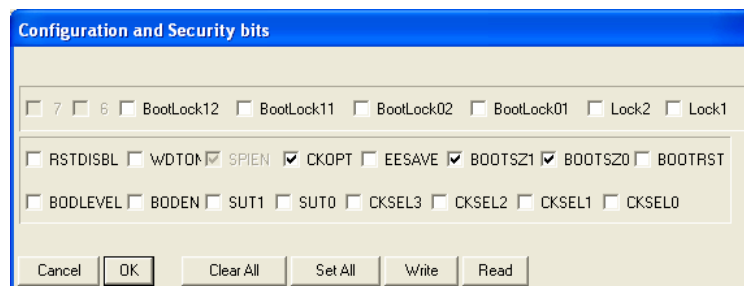
Paralelní programátor

Pro nahrání souboru můžeme využít paralelní programátor a pomocí něj nahrát data do mikrokontroléru s využitím programu „PonyProg2000“. Schéma programátoru je na obrázku 17. Je to jednoduchý programátor s obvodem 74HC244, který slouží jako neinvertující budič sběrnice. Viz příloha



Obrázek 17 - Paralelní programátor

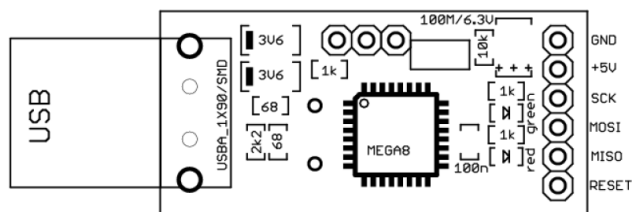
Důležité je nastavení propojek mikrokontroléru, obrázek 18 ukazuje nastavení externího oscilátoru. Zaškrtnuté položky znázorňují logickou 0. CKOPT = 0 plný rozkmit oscilátoru vhodné pro silně rušivé okolí a široký rozsah kmitočtů. Nastavení propojek je pro kmitočty krystalů nad 3 MHz s pomalým náběhem oscilátoru.



Obrázek 18 - Nastavení propojek mikrokontroléru pro krystal 20 MHz.

Programátor USBasp

Je to programátor určený pro mikrokontrolery Atmel. V počítači musí být nainstalovaný příslušný driver dostupný na [15]. Dalším krokem



Obrázek 19 – Popis vývodů na programátoru

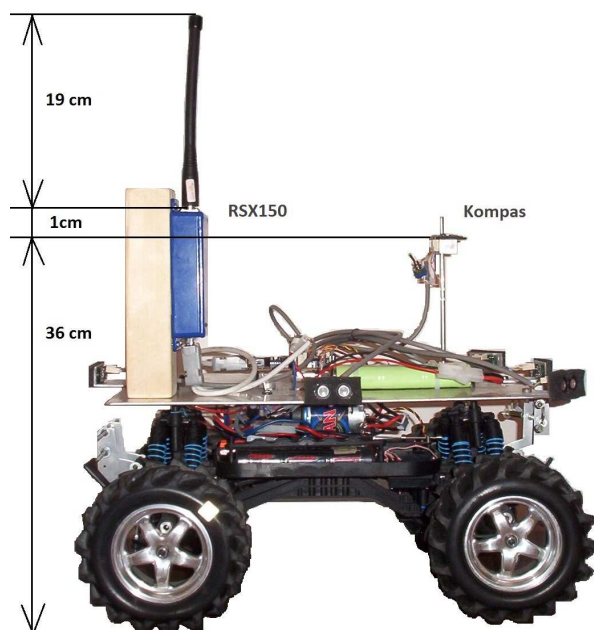
Tento programátor stačí propojit s příslušnými kontakty mikrokontroleru, jeho vývody se dají použít jako zdroj napájecího napětí. Důležitým krokem při programování je, mít připojený krystal k programovanému mikrokontroleru.

Shodnocení programátorů

Výhoda paralelních programátorů je ta, že za jejich pomoci dokážeme jednoduše nastavit propojky uvnitř mikrokontroleru. Naproti tomu USBasp lze využít tam kde paralelní port není k dispozici, připojíme jej jednoduše na USB.

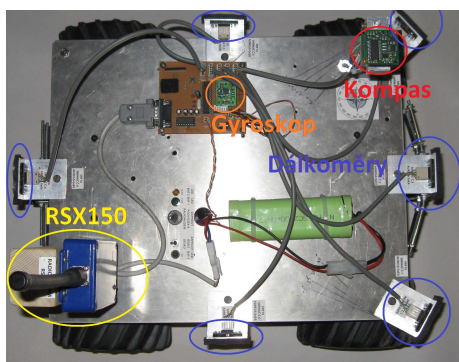
3.8 Realizace a rozmístění součástí robotu

Jak je vidět na fotografii. Anténa radiomodemu je ve vertikální poloze. Tím zaručuje výrobce nejlepší vlastností přenosu. Zároveň je anténa umístěna nejvýše nad ostatními součástmi, aby nedošlo k narušení jejich činnosti. Radiomodem je na opačném konci nosné desky od kompasu, který je velice citlivý na přítomnost ostatních součástí, a proto je umístěn co nejdále od řídící desky (výše na hliníkovém sloupku).



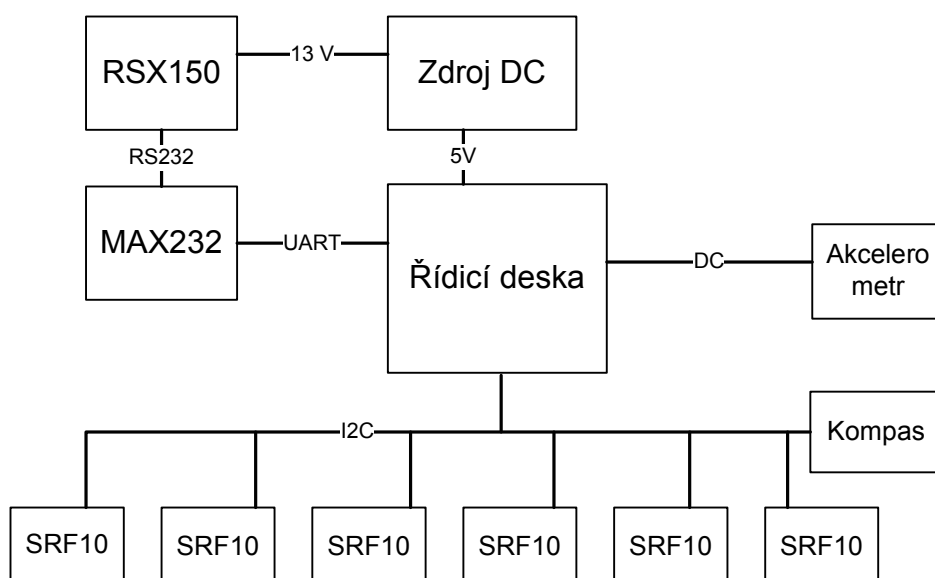
Obrázek 20 – Pohled na robot z boku a rozmístění modulů

Používá se prutová anténa připojena buď přímo na BNC konektor, nebo v případech kdy je v blízkosti antény kovová konstrukce je vhodné použít koaxiální kabel krátké délky a vysoké kvality. Proto je radiomodem připevněn na dřevěném nosníku. To je důležité zejména při vysokých frekvencích, aby se zabránilo ztrátám. Konektor musí být zabezpečen pomocí šroubů. Datové a napájecí kabely radiomodemy jsou stíněny opletem.



Obrázek 21 - Pohled na robot shora rozmístění modulů

Na následující obrázku 22 je znázorněno blokové schéma řídicího systému robota. Je zde vidět, že snímače komunikují přes sběrnici I2C, akcelerometr nám dává analogovou hodnotu která je zpracována v A/D převodníku daného mikrokontroléru atmega. Dále je nutné přizpůsobit napěťové úrovně z radiomodemu RSX150 pomocí převodníku MAX232.



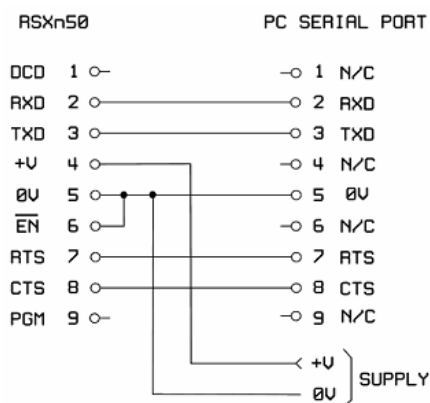
Obrázek 22 – Blokové schéma senzorického a komunikačního systému robota

3.9 Testovaná zařízení

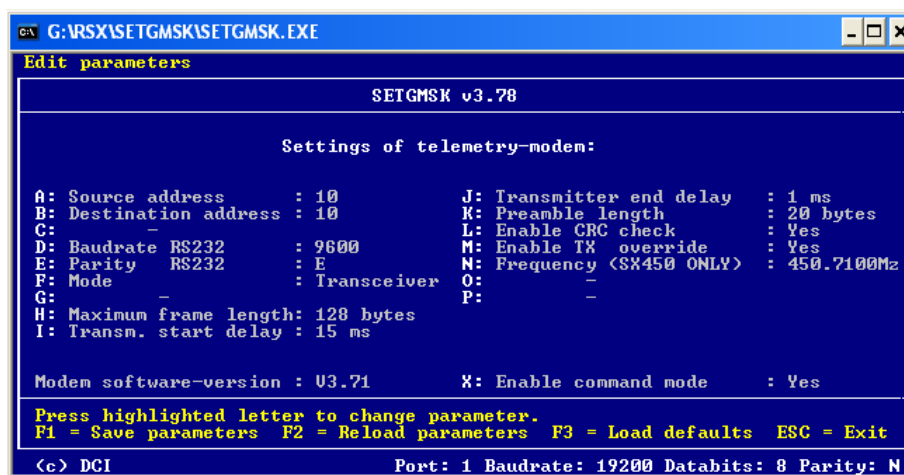
Pro základní práci s komunikací na robotu nám byli přiděleny radiomodemy **RSX150** od společnosti Wood & Douglas, pro možnost srovnání jsem použil bluetooth moduly **OMSPA310** od firmy connectBlue, které se dají běžně použít na sériovou komunikaci mezi počítači, nebo mezi operátorskou stanicí a robotem. Posledním zkoumanými radiomodemy byly **Re400** od společnosti Racom, jedná se o vojenská zařízení, které měla škola dočasně zapůjčeny.

3.9.1 Radiomodem RSX150 s počítačem

U propojovacího kabelu mezi počítači zmíněných na obrázku 23 . je zapojení konektoru odlišné a to v případě signálů RXD a TXD u radiomodemu. Proto je nutné dát pozor při tvorbě kabelu, který musí navíc obsahovat vstup pro napájecí napětí.



Obrázek 23 - Schéma propojovacího kabelu radiomodemu a PC.



Obrázek 24 - Nastavení přenosu v RSX450 v programu SETGMSK

3.9.2 Bluetooth OMSPA310

Konfigurace Bluetooth OMSPA310

Moduly lze využít jednoduše jako sériovou linku. Bylo by možné použít jeden modul implementovaný do robotu a řídit jej pomocí alternativního zařízení například mobilního telefonu obsahující možnost bluetooth komunikace.

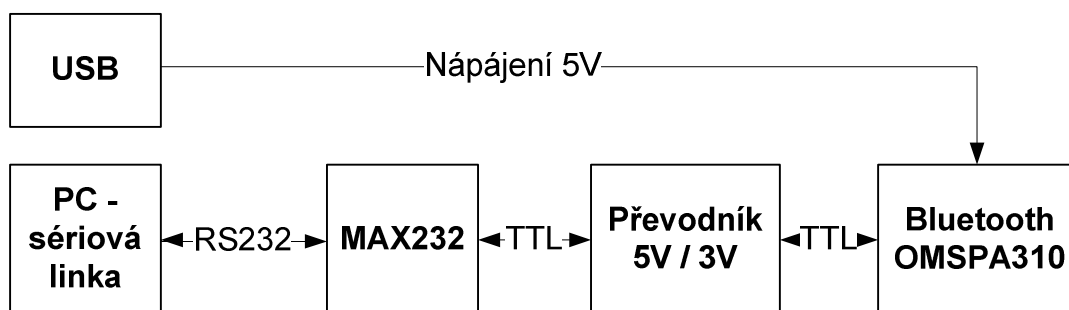
V mém případě jsem zvolil dva stejné moduly, jelikož parametry komunikace závisí na nejslabším článku a to může být například notebook.

Základním nastavení modulů

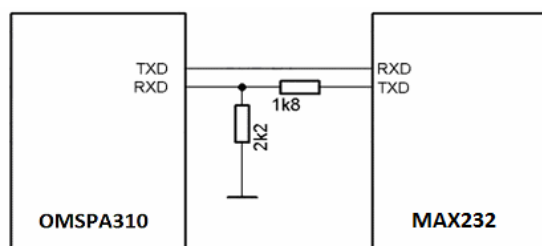
Využil jsem volně dostupného programu SPA Toolbox, který mi doporučila technická podpora Spezial Eletronic. Jeden modul bude nakonfigurován jako client, tento modul aktivně naváže spojení s druhým modulem sevrem. A druhý modul bude jako sever. Z hlediska použití je lhostejné, který modul bude klient a který server.

Připojení bluetooth k počítači

Modul k počítači můžeme připojit pomocí sériové linky přes převodník úrovní MAX232 z RS232 na TTL a jelikož vstup modulu RXD pracuje s 3 V logikou, bylo vhodné využít dělič napětí.



Obrázek 25 - Připojení bluetooth modulu k počítači



Obrázek 26 - Konverze 5V logiky na 3V

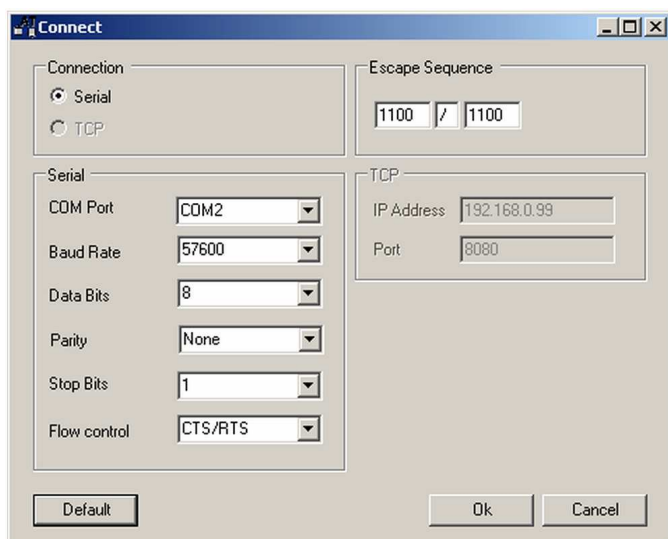
Postup nastavení Client

Spustíme program SPA Toolbox, vybereme jako produkt „Bluetooth SPA“, stiskneme OK.



Obrázek 27 - Spouštění aplikace SPA Toolbox pro bluetooth moduly

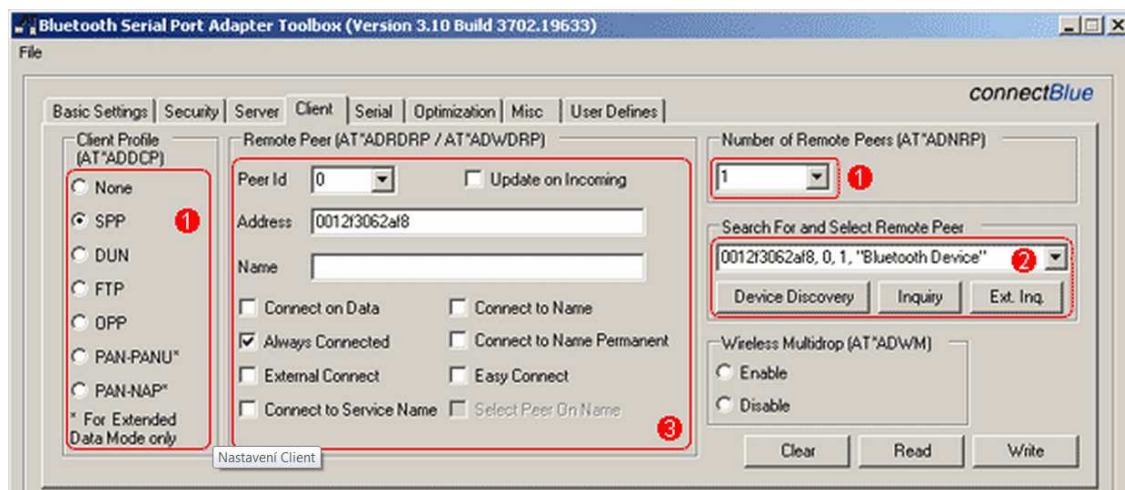
Vybereme správný COM port, tiskneme tlačítko Connect. Při koupi je modul detailně nastaven podle následujícího obrázku 28.



Obrázek 28 - Defaultní připojení k bluetooth modulům

Nyní stiskneme tlačítko AT Mode

Vybereme záložku klient



Obrázek 29 - Konfigurace bluetooth modulů

Nastavení

Client Profile = SPP

No Repote Peers = 1, stiskneme tlačítko Write

Připojíme napájení druhého modulu (k serveru) a stiskneme Device Discovery

Nastavíme Peer ID = 0 a v roletovém menu (Search For and Select...) vybereme modul který byl nalezen. Tím se přenesse adresa modulu server do kolonky address. Zatrhneme položku Always Connected. A stiskneme Write.

V případě že nám nevyhovuje defaultní nastavení sériové linky, provede se na záložce Serial.

Nastavení serveru

V tomto případě není nutné do modulu nijak zasahovat, snad jen pokud potřebujeme změnit nastavení sériové linky. Z pokusů vyplynulo, že pokud chceme využívat nové nastavení je nutné modul resetovat.

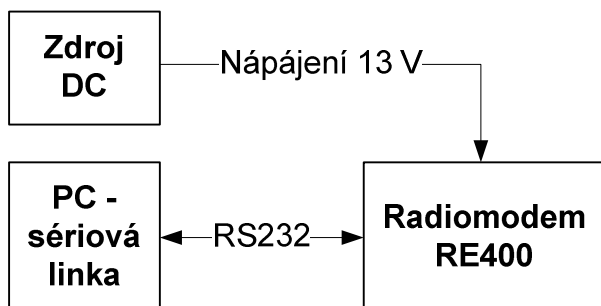
3.9.3 Vojenský radiomodem Re400

Konfigurace parametrů Re400

- Připojíme konektor radiomodemu ETH standardním ethernet kabelem k PC.
- Zapneme napájení (PoE nebo AUX). Musí svítit PWR a ETH. Po 20 sec začne zeleně blikat STATUS.
- Nastavíme IP adresu v PC na 192.168.1.233 a masku 255.255.255.0.
- Otevřeme www prohlížeč na adrese 192.168.1.2.
- V menu Settings nastavíme konfiguraci, uložit Save.
- IP adresu každého radiomodemu volíme v rámci sítě jedinečnou.

| Radio | | RS232 | | Ethernet | |
|--|---------------------------|--------------|-------|----------|---------------|
| Frequency | MHz kHz Hz 398 750 000 | Baud rate | 19200 | IP | 192 168 1 2 |
| Channel spacing | 25 kHz / 10.4 kbps | Data bits | 8 | Mask | 255 255 255 0 |
| RF Power | 0.5W | Parity | None | GW | 192 168 1 2 |
| Fragment threshold [bytes] | 1480 | Stop bits | 2 | | |
| Repeater | No | Idle [bytes] | 10 | | |
| Number of repeaters | 0 | MTU [bytes] | 4000 | | |
| | | Handshake | None | | |
| <div>Default Read Save</div> <div>Save to file</div> | | | | | |

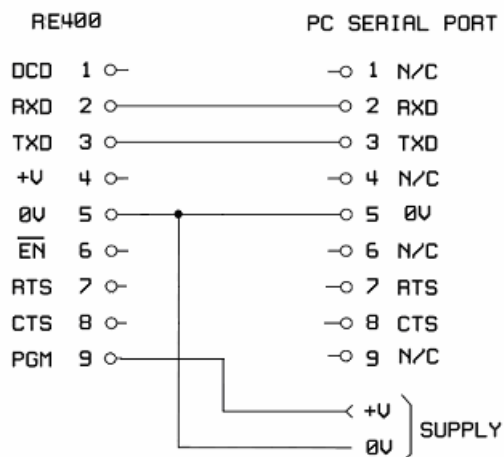
Obrázek 30 - Webové rozhraní pro konfiguraci radiomodemů RE400



Obrázek 31 - Blokové schéma připojení radiomodemu k počítači

Připojení k počítači rozhraní

RE400 můžeme připojit konektorem RS232 DSUB9, nebo RJ-45 pro Ethernet 10BaseT a 100BaseT odpovídá standardu POE – IEEE802.3af. Rádiový modem rozezná zapojení kabelu (křížený a přímý kabel) a automaticky se přizpůsobí podle potřeby.



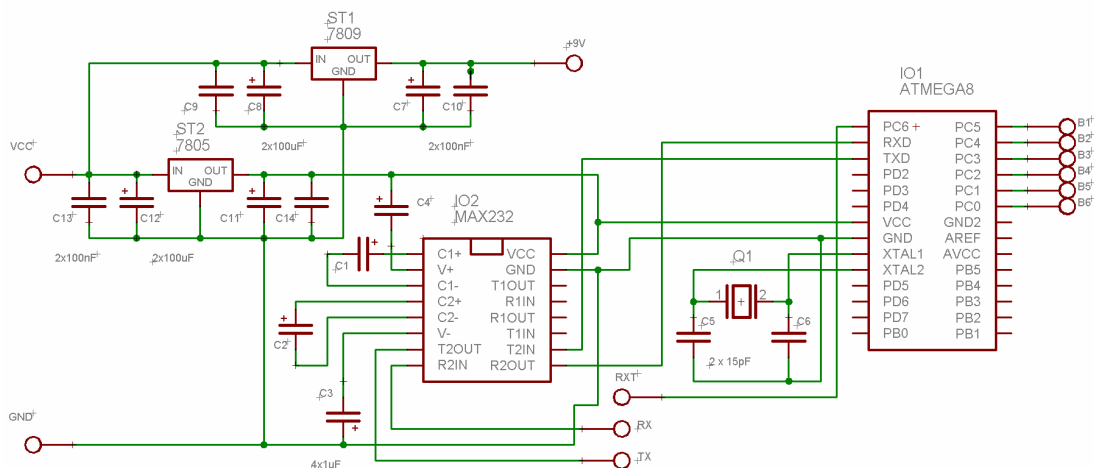
Obrázek 32 – Schéma propojení RE400 s počítačem

Napájení - možnosti

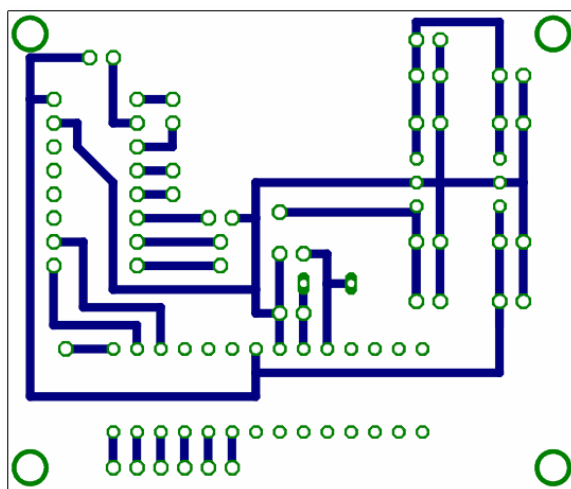
- **AUX** — Přes konektor konektor DSUB9F, piny 5 a 9. viz obrázek 32. Nominální napájecí napětí 13,8 V (10,8–30 V)
- **PoE** — Přes ethernet konektorem RJ-45, podle standardu POE – IEEE802.3af. Napájecí napětí 38–57 V. Polarita může být také obrácená

3.10 Testovací deska ze strany robotu

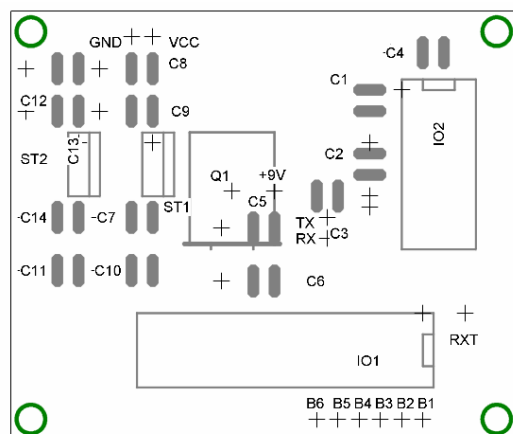
Toto rozhraní je připojeno na baterie mobilního robotu 13V. Data z radiomodemu se vedou do převodníku MAX232, kde se invertují signály TXD, RXD a ty se vedou na vstup sériové linky mikrokontroléru atmega8. Tady se dále zpracují a vyhodnotí se na PORTU C.



Obrázek 33 – Schéma testovací desky



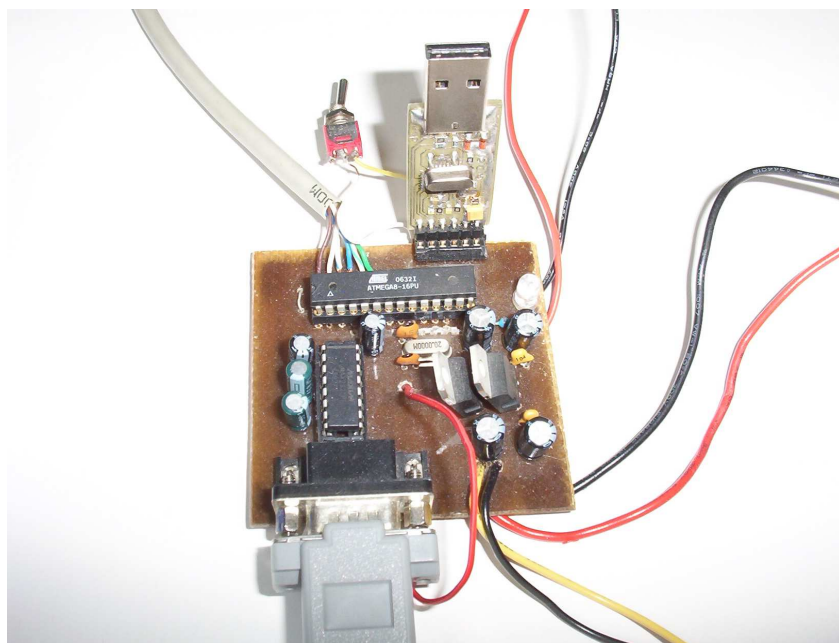
Obrázek 34 - Deska spojů pro testování na vzdáleném radiomodemu



Obrázek 35 - Osazovací plán desky pro testování na vzdáleném radiomodemu

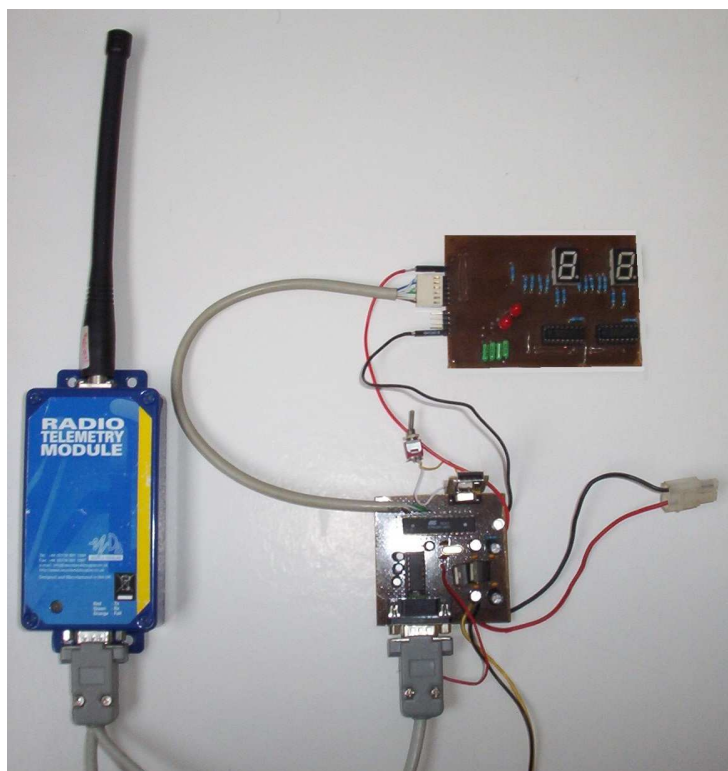
Tabulka 14 – Seznam součástek testovací deska

| Označení | Název |
|-------------------|---------------------------------------|
| IO1 | Mikrokontroler Atmega8 |
| IO2 | Převodník úrovní MAX232 (RS232/TTL) |
| ST1 | Stabilizátor 7809 |
| ST2 | Stabilizátor 7805 |
| Q1 | Krystal Q 20MHz |
| C1, C2, C3, C4 | Elektrolytický kondenzátor 1 uF/16V |
| C5, C6 | Keramický kondenzátor 15 pF/50V |
| C7, C9, C13, C14 | Keramický kondenzátor 100 nF/50V |
| C8, C11, C10, C12 | Elektrolytický kondenzátor 100 uF/16V |



Obrázek 36 – Ukázka testovací desky

Na následující ukázce je praktické zapojení testovacího systému složeného z radiomodemu RSC150, testovací a zobrazovací desky.



Obrázek 37 – Ukázka testovacího systému

4 TESTOVÁNÍ RADIOMODEMŮ

V této kapitole provedeme test na zmíněných komunikačních zařízeních. Nejprve začneme s radiomodemem RSX150 na kterých můžeme dosáhnout maximální přenosové rychlosti 9600 Bd. Jelikož využíváme přenos jednobytových (8 bitů) informací obsahující start bit, stop bit, dostaneme přenosový rámec o velikosti 10 bitů. Tzn. když přenosovou rychlost 9600 Bd podělíme 10 bity dostaneme 960 přenosových rámců a tedy i 960 datových slov velikosti jeden byte. Dostaneme datový tok roven 960 B/s což odpovídá hodnotě 7,68 kb/s. Radiomodem pracují v poloduplexním režimu, přenášejí data jen v jednom směru buď tam a nebo zpět.

V následující tabulce 16 jsou zobrazeny informace o testovaných zařízeních. Parametry ukazují nastavení na maximální možný výkon a přenosovou rychlost. Zvolené frekvence lze měnit jen u radiomodemů. V tabulce jsou však uvedeny defaultní hodnoty nastavených frekvencí.

Tabulka 15 - Srovnání testovaných zařízení

| | Frekvence | Výkon | Dosah | Max. rychlost / kanál |
|-----------------|------------------|--------------|--------------|------------------------------|
| OMSPA310 | 2,4GHz | 2,2 mW | až 75 m | 921,6 kBd |
| RSX450 | 451 MHz | 500 mW | desítky km | 9600 Bd / 25kHz |
| Re400 | 399 MHz | 2W | desítky km | 112 kBd / 25kHz |

Výkon u Bluetooth je 3,4 dBm (někdy dBmW). Převod jednotek výkonu (dB na W) provedeme podle následujícího vzorce.

$$P = 10 \log(\text{výkon}) \quad [\text{W}] \quad [18]$$

Příklad:

$P = 10 \log (2,2) = 3,4 \text{ dBm}$. Výsledek odpovídá zmíněnému výkonu modulu

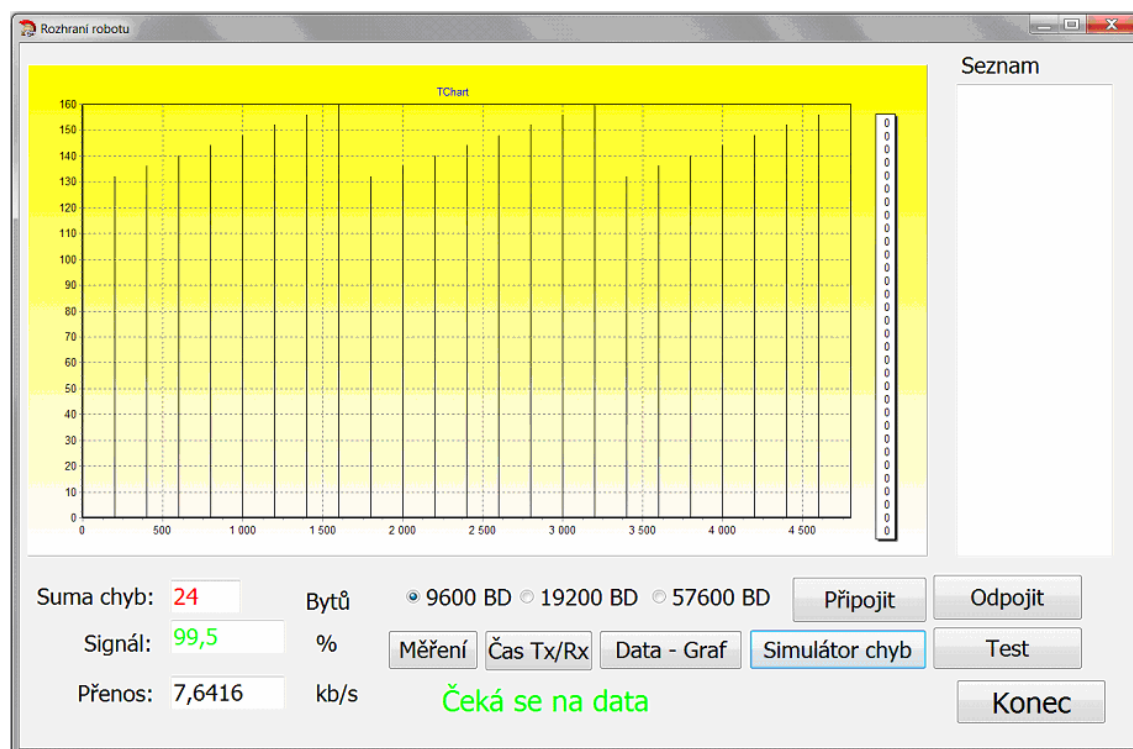
Nastavení přenosových rychlostí měřených zařízení

| | |
|--------------|----------|
| Měření RA400 | 112 kBd |
| RSX450 | 9600 Bd |
| Bluetooth | 57,6 kBd |

Snažili jsme se dosáhnout maximální teoretické přenosové rychlosti, která je u bluetooth maximálně 921,6 kBd, avšak v kombinaci s použitým krystalem u mikrokontroléru a možností nastavení daného modulu dosáhneme maximální přenosové rychlosti 57,6 kBd. Další možností by bylo použít jiný mikrokontrolér. U radiomodemu RE400 jsme už dosáhli maximální možné přenosové rychlosti, která lze nastavit i na mikrokontroleru.

Testování datového toku u bezdrátových zařízení v budově kolejí A04

Pro testování jsem vytvořil aplikaci vytvořenou v prostředí C++ Builder 2007. V aplikaci si můžeme nastavit přenosové rychlosti a funkci měření.



Obrázek 38 - Aplikace pro testování bezdrátových zařízení

Simulace

Na obrázku je vidět že došlo k chybě v 24 bytech. Položka „Signál“ je procentuální vyjádření přijatých dat oproti 100% bezztrátovému příjmu dat.

Popis jednotlivých funkcí

Měření - vyšle povel do měřicího rozhraní, které spustí vysílání posloupnosti dat po dobu 5s, vyhodnotí počet nepřijatých bytů, konkrétní umístění nepřijatého bytu. Dále vypočte signál (procentuální vyjádření přijatých dat oproti 100% bezchybnému přenosu) a nakonec průměrnou hodnotu datového toku.

Čas TX/RX – vyšle signál do měřicího rozhraní a změří dobu kdy nám dojde informace zpět.

Data Graf – je funkce, která slouží jako přepínač mezi zobrazením skutečných dat, která přichází z měřicího rozhraní a srovnávacími daty, které ve výsledku zobrazí chybné byty a jejich umístění.

Simulátor chyb - slouží jako test, kterým ověřujeme funkčnost dané aplikace. Je zobrazen na obrázku 38. Simulace zobrazuje, že nastává chyba z měřicího rozhraní u každé sté hodnoty.

Parametry měření

- Doba po kterou se vysílá 5s
- Počet přenesených zpráv 2400
- Velikost bufferu [5000]

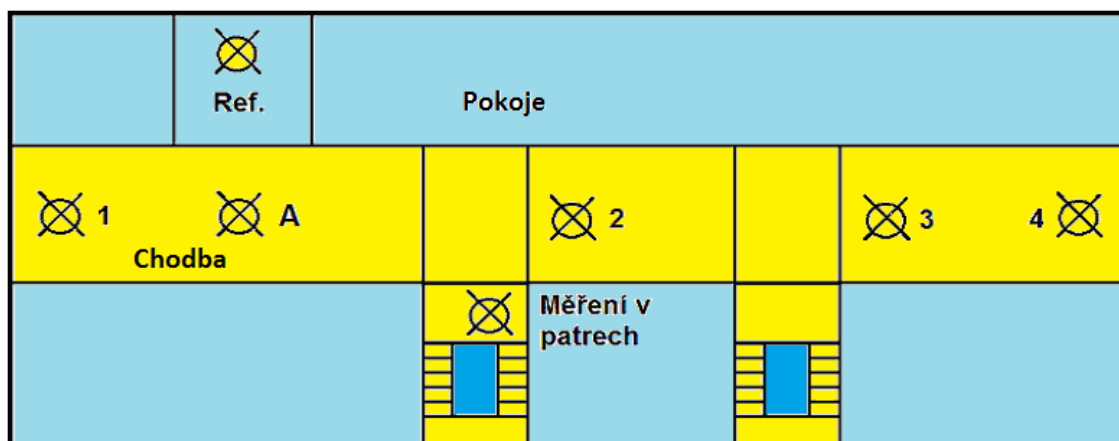
Shodnocení

Doba po kterou vysílá robot je stanovena na 5s. Kde datový rámec jednoho bytu je složen navíc ze start bytu a stop bitu, parita se při měření nevyužívá, proto dostaneme 10 bitový datový rámec. Jelikož je přenosová rychlost 9600Bd dojde během 5s k přenosu 4800 datových rámců.

Převod na přenosovou rychlost

$960\text{B za sekundu} \times 8\text{b} = 7680\text{b/s} = \mathbf{7,68\text{ kb/s}}$ v jednom směru

Měření probíhalo v druhém patře v místnosti 223, kde bylo i měřicí a operátorské stanoviště. Radiové vlny procházeli železobetonovými konstrukcemi. Měřili jsme hodnoty datových toků v předem definovaných bodech znázorněných na následující obrázku.



Obrázek 39 - Orientační plán Budovy kolejí A04 2. patro, pohled shora

Tabulka 16 - Měření Signálu v druhém patře budovy A04

| | | Re400 - Signál [%] | | OMSPA310 - Signál [%] | RSX450 - Signál [%] |
|-----|-------------------|--------------------|---------|-----------------------------|------------------------|
| Bod | Vzdálenost [m] | Low 0,5W | High 2W | 2,2 mW | 500mW |
| A | 8 | 100 | 100 | 64 | 100 |
| 1. | 12 | 100 | 100 | - | 100 |
| 2. | 24 | 96,93 | 100 | - | 100 |
| 3. | 63 | 78,65 | 100 | - | 0 |
| 4. | 79 | 74,81 | 100 | - | 0 |

OMSPA310 bluetooth modul v bodě A měl 60% signál.

Radiomodem RSX hodnota mezi body 2 a 3 postupně klesala.

Tabulka 17 - Měření signálu v patrech budovy kolejní A04

| Patro | Vzdálenost [m] | Re400, High - signál [%] | RSX450, 0,5 W - signál [%] |
|-------|-------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 2. | 23,1 | 100% | 100% |
| 3. | 23,6 | 98,26 | 41% |
| 5. | 26,4 | 98,26 | 6% |
| 7. | 29,3 | 72,22 | - |
| 9. | 32,8 | 72,22 | - |

Shodnocení testovaných zařízení

Jak je vidět z uvedených tabulek nejlepších výsledků dosahuje vojenský radiomodem RE400, který díky vysokému vyzařovacímu výkonu obsáhne celou budovu a dokonce na stejném patře se 100% datovým tokem. Avšak při měření v patrech už docházelo k poklesu datového objemu. Bluetooth má teoretický dosah až 75 metrů, ale jen na přímý dohled. Datový tok klesl o 40 % na 8 metrů přes dvoje dveře a v ostatních bodech měření už byl nulový. Radiomoduly RSX150, které jsou hlavním předmětem zkoumání dosahovali měřitelného datového toku v budově až do 60 metrů, ten postupně klesal od 20 metrů dále.

Testování zpoždění

Dalším důležitým parametrem při zkoumání a navrhování komunikace je zpoždění. Kdy v našem případě vyšleme byte a čekáme za jak dlouho se vrátí potvrzovací informace. V tabulce 19 jsou zobrazeny hodnoty zpoždění při různých nastavení. Preamble (počet bytů pro stabilizaci tvarovače modulátoru) a startovacího zpoždění. Nyní už jen pro bluetooth a RSX150.

Tabulka 18 - Srovnání zpoždění přepnutí (vysílání příjem) na daných zařízení

| | 1x tam a zpět - t [ms] | 2x (tam a zpět) - t [ms] | preamble [B] | start delay [ms] |
|------------------|------------------------|--------------------------|--------------|------------------|
| Bluetooth | 11 | 22 | - | - |
| RSX150 | 280 | 571 | 20 | 106 |
| RSX150 | 112 | 246 | 20 | 20 |
| RSX150 | 98 | 212 | 16 | 17 |

Každý radiomodem má nastavenou preamble (vysílá znaky například 0xAA, nebo 0x55, sekvence 0 a 1). Preamble by měla být minimálně 16 bytů podle datasheetu by tato hodnota měla být větší než 15.

Příklad výpočtu zpoždění

Startovací zpoždění: 17 ms

Stop zpoždění: 1 ms

Preamble: 16 bytů * 10 bitový rámec = 160 bitů * (9600 bitů za 1 s = 1/ 9600 = 0.104 ms) = 16.666 = 17ms

Rámec 10 bitů = 1.04 ms

Přepnutí TX/ RX = 20 ms, udává výrobce

Výpočet: (Start+Preamble+Data+Stop)*2+ přepnutí TX/RX

(17 + 1 + 1 + 17)*2+20 = 92 ms v tabulce 19 máme 98 ms což přibližně odpovídá.

5 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOL

Vycházíme z předpokladu využití protokolu RS232, s kterým pracují dané radiomodemy. V prvních fázích pokusů jsem využíval převodníku UMS1, který prostřednictvím MAX232 tvoří převodník úrovní signálu k radiomodemu.

5.1 Operátorské stanice – řízení podvozku a spouštění měření

Celková velikost zpráv vysílaných do robotu je 4 byty, kde každý byte je představen znakem. První 3 byty slouží k identifikaci jednotlivých příkazů, každý znak představuje 8 bitovou informaci. Poslední byte slouží jako hodnota dat, kterou zpracuje mikrokontrolér v robotu. Na následující tabulce jsou znázorněny zprávy a jejich formát

Tabulka 19 - Data vysílané do robotu

| Identifikace první 3 byty | Data poslední byte zprávy | Zpráva |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| p1/ | x | Rychlost pohybu vpřed / vzad |
| p2/ | x | Velikost natočení předních kol |
| p3/ | x | Změna rozsahu SRF10 |
| p4/ | x | Změna zesílení SRF10 |
| p5/ | x | Spuštění měření signálu |

Data se cyklicky vysílají po 200 ms. Tento čas je vypočten ze zpoždění jaké nastává při přepnutí vysílání / příjem na radiomodemech jejich formátu a počtu vysílaných dat. Tak aby byla možnost přijmout data a znovu vyslat sled příkazů na řízení. Vyšlou se zprávy p1 až p4. Poslední zpráva slouží ke spouštění měření na daných radiomodemech.

5.2 Vysílání dat z robotu do operátorské stanice

Pokud nepřijdou data do 1s z operátorské stanice, mikrokontrolér uvede robot do výchozího stavu. To složí k tomu, aby se robot nekontrolovatelně nerozjel. Pokud by se dostal mimo dosah.

Pokud přijde sled dat z robota, vyšlou se aktuální uložené informace ze snímačů zpět do operátorské stanice. U dálkoměrů SRF 10 tvoří zpráva již 5 bytů kde 2 poslední tvoří měřená data. U kompasu vracíme jeden byte a akcelerometru 4 byte dat. Všechna data se vyšlou postupně ve sledu jak jsou napsána v následující tabulce s aktuální hodnotou každého snímače. Data se dále zpracují v aplikaci v počítači.

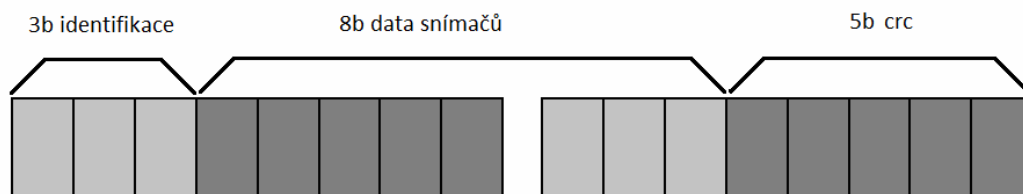
Tabulka 20 - Data přicházející z robotu

| Identifikace první 3 byty | Data [B] | Snímač |
|---------------------------|----------|---------------|
| V1/ | 2 | SRF10 č.1 |
| V2/ | 2 | SRF10 č.2 |
| V3/ | 2 | SRF10 č.3 |
| V4/ | 2 | SRF10 č.4 |
| V5/ | 2 | SRF10 č.5 |
| V6/ | 2 | SRF10 č.6 |
| C1/ | 1 | CMPS03 |
| GX/ | 4 | ACC7260 osa X |
| GY/ | 4 | ACC7260 osa Y |

Kontrolní součet CRC

V našem případě využíváme integrovanou funkci CRC radiomodemů, která chybný rámec zahodí. Bylo by možné využít například logaritmické funkce k zajištění lepší bezpečnosti přenosu, ale jelikož využíváme 8 bitového mikokontroléru, který pracuje na 20MHz, jde nám spíše o rychlost přenesených dat a využití složitějších operací by nás obíralo o čas, který potřebujeme ke zpracování přenesených dat.

Avšak identifikace 3 byte je u snímačů značně velká, proto kdybychom chtěli zvýšit rychlost například u fullduplexního přenosu dala by se identifikace zkrátit například na 3 bity, rozdělit data ze snímače a na konci zprávy by byl kontrolní součet, který by například sečetl každý jednotlivý byte přijaté zprávy a srovnával by jej zvlášť s výpočtem přijatých dat.



Obrázek 40 – Příklad zkrácení protokolu pro kompas

6 ZÁVĚR

V předložené diplomové práci byly zmíněny možnosti bezdrátové komunikace. Jejich použití v nelicenčním pásmu a možné technologie, jako Wifi, Bluetooth, ZigBee, Radiomodemy, Wimax jejich parametry a srovnání s praktickými příklady volně dostupných zařízení. V úvodu práce je popsán podvozek kolového robota, snímače a stěžejní zařízení práce radiomodemy RSX150.

Realizovali jsme bezdrátovou komunikaci mezi operátorskou stanicí a robotem. Operátorská stanice byla počítač s klasickým USB výstupem připojený k radiomodemům prostřednictvím standardní převodník USB / RS232 Vytvořili jsme ovládací aplikaci, která dokáže pracovat v operačních systémech Windows XP, Vista, Seven a proto je možné tento systém použít na jakémkoliv počítači, který má port USB a podporuje zmíněné OS. Robot komunikoval s radiomodemem prostřednictvím převodníku úrovně MAX232 připojenému k mikrokontroleru Atmega8.

V práci je dále řešen způsob testování parametrů předložených komunikačních zařízení jako bylo bluetooth OMSPA630, vojenských radiomodem RE400 a telemetrických radiomodem RSX150. Navíc jsou zde řešeny způsoby připojení k počítači (operátorské stanici) a jejich srovnání.

Měření a srovnávání daných zařízení bylo prováděno v budově kolejí A04 na předem definovaných bodech. Nejlepších výsledků jsme dosáhli s využitím radiomodemů RE400. Signál díky vysokému výkonu a nízké frekvenci dokázal procházet železobetonovými částmi budovy a byl měřitelný v celém komplexu. Naproti tomu dané radiomodemy RSX150 měli o poznání menší dosah. To bylo způsobeno vyšší frekvencí na které zařízení pracovali a menším výkonem, ale i přesto dokázali pracovat do vzdálenosti 60 metrů.

V závěru práce je popsán komunikační protokol využitý při komunikaci. Který je vytvořen na základě výsledků testovaných zařízení. Vytvořený systém dokáže reagovat na řídicí povely z počítače a zároveň operátor dokáže navigovat robot, aniž by byl v přímém dohledu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HOBBYROBOT. *SRF10 – Ultrasonic range finder*. Hobbyrobot, Praha [online]. 2010 < http://www.hobbyrobot.cz/PDF/SRF10_cz.pdf >
- [2] HOBBYROBOT. *CMPS03 – Modul kompasu pro robotiku*. Hobbyrobot, Praha [online]. 2010 <http://www.hobbyrobot.cz/PDF/CMPS03_cz.pdf >
- [3] Radiomodemy RSX450 Advanced Radio Telemetry [online]. 2010. [online]. Dostupné z: < http://www.artbrno.cz/wood&douglas/w&d2_cz.php#TRXmoduly >
- [4] Český telekomunikační úřad [online]. 2011. Dostupné z: < <http://www.ctu.cz/> >
- [5] Bezdrátová komunikace [online]. 2010. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Bezdr%C3%A1tov%C3%A1_komunikace>
- [6] Informace o modulaci [online]. 2011. Dostupné z: <<http://www.urel.feec.vutbr.cz/MTRK/>>
- [7] Wi-fi modul [online]. 2011. Dostupné z: <<http://www.i4wifi.cz/r52-minipci-bezdratova-karta-ar5414-2-4-5-ghz-d91.html>>
- [8] Wimax modul [online]. 2011. Dostupné z: http://www.intelek.cz/product_doc-0B21CF1A66CA2752C125730C00513A75.html
- [9] Bluetooth modul [online]. 2011. Dostupné z: <<http://www.spezial.cz/connectblue/>>
- [10] ZigBee modul [online]. 2011. Dostupné z: <<http://obchod.hw.cz/img.asp?attid=6064>>
- [11] Přenosové formáty (modulace, mnohonásobný přístup) mobilní systémy 2. a 2,5. generace [online]. 2007. Dostupné z: <http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK07_semestralky/prenosove_formaty_2G_a_2_5G.pdf>
- [12] Radiomodemy RE400 [online]. 2011. Dostupné z: <<http://www.racom.eu/cz/products/radiomodemy.html>>
- [13] Převodník UMS1 – USB<->USART [online]. 2010. Dostupné z: <<http://www.asix.cz/a6ums1.htm>>
- [14] MATOUŠEK, David. USB prakticky s obvody FTDI - 1.díl. Praha: BEN technická literatura, 2009. 272s.
- [15] Programátor USBasp [online]. 2011. Dostupné z: < <http://www.fischl.de/usbasp/> >
- [16] Sériová linka RS-232 [online]. 2011. Dostupné z: < <http://hw.cz/rs-232> >
- [17] Datasheet Atmega8 [online]. 2011. Dostupné z: < http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf >
- [18] Převod jednotek [online]. 2011. Dostupné z: <<http://www.radiolokatory.cz/teorie/decibel.html>>
- [19] JOSEPH J. JONES. *Mobile Robots – Inspiration to Implementation*, ISBN, 1999.

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 - Ukázka podvozku..... | 9 |
| Obrázek 2 - Ukázka radiomodemu RSX150..... | 11 |
| Obrázek 3 - Ukázka bluetooth modulu OMSPA310..... | 18 |
| Obrázek 4 - Princip klíčování modulace GMSK. | 21 |
| Obrázek 5 - Radiomodem RE400 | 22 |
| Obrázek 6 - Komunikační systém..... | 24 |
| Obrázek 7 – V červeném rámečku ovládací aplikace robotu je má součást práce | 25 |
| Obrázek 8 - Drátové propojení sériové linky [16] | 26 |
| Obrázek 9 – Logické úrovně sériové linky | 27 |
| Obrázek 10 – Standardní přenosový rámec asynchronní komunikace..... | 28 |
| Obrázek 11 – Možností připojení testovaných zařízení k počítači | 29 |
| Obrázek 12 - Schéma rozhraní pro operátorskou stanici | 31 |
| Obrázek 13 - Deska plošných spojů pro operátorskou stanici | 31 |
| Obrázek 14 - Osazovací plán desky pro operátorskou stanici | 31 |
| Obrázek 15 – Ukázka desky s USB portem k ovládací aplikaci | 32 |
| Obrázek 16 - Mikrokontrolér Atmega8 | 33 |
| Obrázek 17 - Paralelní programátor..... | 35 |
| Obrázek 18 - Nastavení propojek mikrokontroléru pro krystal 20 MHz. | 35 |
| Obrázek 19 – Popis vývodů na programátoru..... | 36 |
| Obrázek 20 – Pohled na robot z boku a rozmístění modulů | 37 |
| Obrázek 21 - Pohled na robot shora rozmístění modulů..... | 37 |
| Obrázek 22 – Blokové schéma senzorického a komunikačního systému robotu..... | 38 |
| Obrázek 23 - Schéma propojovacího kabelu radiomodemu a PC..... | 39 |
| Obrázek 24 - Nastavení přenosu v RSX450 v programu SETGMSK | 39 |
| Obrázek 25 - Připojení bluetooth modulu k počítači | 40 |
| Obrázek 26 - Konverze 5V logiky na 3V | 40 |
| Obrázek 27 - Spouštění aplikace SPA Toolbox pro bluetooth moduly | 41 |
| Obrázek 28 - Defaultní připojení k bluetooth modulům | 41 |
| Obrázek 29 - Konfigurace bluetooth modulů | 42 |
| Obrázek 30 - Webové rozhraní pro konfiguraci radiomodemů RE400 | 43 |
| Obrázek 31 - Blokové schéma připojení radiomodemu k počítači | 43 |
| Obrázek 32 – Schéma propojení RE400 s počítačem | 44 |
| Obrázek 33 – Schéma testovací desky | 45 |
| Obrázek 34 - Deska spojů pro testování na vzdáleném radiomodemu | 45 |
| Obrázek 35 - Osazovací plán desky pro testování na vzdáleném radiomodemu | 46 |
| Obrázek 36 – Ukázka testovací desky | 47 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 37 – Ukázka testovacího systému..... | 47 |
| Obrázek 38 - Aplikace pro testování bezdrátových zařízení..... | 49 |
| Obrázek 39 - Orientační plán Budovy koleje A04 2. patro, pohled shora | 51 |
| Obrázek 40 – Příklad zkrácení protokolu pro kompas..... | 54 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1- Parametry podvozku..... | 9 |
| Tabulka 2 - Technické parametry stanic [4] | 13 |
| Tabulka 3 - Přehled standardů IEEE 802.11 | 16 |
| Tabulka 4 – parametry Wi-fi modulu R52 [7] | 17 |
| Tabulka 5 – Parametry modulu OMSPA310 | 19 |
| Tabulka 6 - Parametry RSX150..... | 20 |
| Tabulka 7 – Parametry radiomodemu RE400..... | 22 |
| Tabulka 8 – Srovnání uvedených zařízení | 23 |
| Tabulka 9 - Popis jednotlivých vývodů sériové linky..... | 26 |
| Tabulka 10 - Standardní úrovně signálu sériové linky..... | 27 |
| Tabulka 11 - Seznam součástek PC..... | 32 |
| Tabulka 12 - Možné nastavení přenosových rychlostí [17] | 33 |
| Tabulka 13 – Nastavení přenosových rychlostí pro krystal 20 MHz..... | 34 |
| Tabulka 15 – Seznam součástek testovací deska | 46 |
| Tabulka 16 - Srovnání testovaných zařízení | 48 |
| Tabulka 17 - Měření Signálu v druhém patře budovy A04..... | 51 |
| Tabulka 18 - Měření signálu v patrech budovy kolejní A04..... | 51 |
| Tabulka 19 - Srovnání zpoždění přepnutí (vysílání příjem) na daných zařízení..... | 52 |
| Tabulka 20 - Data vysílané do robotu..... | 53 |
| Tabulka 21 - Data přicházející z robotu..... | 54 |

Kontakt

Jméno: David Petrov
Školní email xpetro03@stud.feec.vutbr.cz
Veřejný email: johndav@seznam.cz
Telefon: +420 723 958 221

Kolega: Jiří Rysnar a jeho část práce nazvaná „Řídící a senzorický systém průzkumného mobilního robotu“.